МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УЛЬЯНОВСКОЕ ВЫСШЕЕ АВИАЦИОННОЕ УЧИЛИЩЕ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (ИНСТИТУТ)

Т.В. Сафонова

АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Учебное пособие

Ульяновск 2005

ББК О571.7 я7

С 21

Сафонова Т.В. Авиационная метеорология: учеб. пособие / Т.В. Сафонова. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. – 215 с.

Содержит 9 разделов, в которых даны сведения: об атмосфере Земли, ее составе и строении; о физических характеристиках атмосферы, влияющих на полеты ВС; об анализе полей давления, температуры и влажности; о горизонтальных и вертикальных движениях воздуха; об облачности и атмосферных осадках; о горизонтальной видимости и метеорологических явлениях, ее ухудшающих; о синоптических процессах в атмосфере; об опасных для полетов ВС явлениях погоды.

Предназначено для курсантов и студентов УВАУ ГА специализации 240701 – Летная эксплуатация гражданских воздушных судов, а также специализации 240801 – Управление воздушным движением. Пособие также будет полезно слушателям авиационного учебного центра (АУЦ) и всем интересующимся вопросами авиационной метеорологии.

Печатается по решению Редсовета училища.

© Сафонова Т.В., 2005

© Ульяновск, УВАУ ГА, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....8
Введение.....13
Раздел 1. Атмосфера Земли, ее состав и строение.....15
1.1. Общие сведения об атмосфере.....15
1.2. Стандартная атмосфера.....16
1.3. Состав атмосферы.....17
1.4. Строение атмосферы.....18
Контрольные вопросы.....20
Тестовые задания.....22
Раздел 2. Физические характеристики атмосферы, влияющие на полеты воздушных судов.....28
2.1. Температура воздуха.....28
2.1.1. Информация о температуре воздуха, используемая при метеообеспечении полетов.....28
2.1.2. Методы и точность измерения температуры.....30
2.1.3. Причины и закономерности изменения температуры воздуха.....31
2.1.4. Задерживающие слои.....33
2.2. Влажность и плотность воздуха.....35
2.2.1. Информация о влажности воздуха, используемая при метеообеспечении полетов.....35
2.2.2. Методы определения влажности воздуха.....37
2.2.3. Влияние влажности на плотность воздуха.....39
2.3. Атмосферное давление.....41
2.3.1. Данные об атмосферном давлении, используемые в авиации.....41
2.3.2. Методы и точность измерения атмосферного давления.....43
2.3.3. Изменение атмосферного давления по высоте.....44
2.3.4. Барометрические формулы.....46
Контрольные вопросы.....49
Тестовые задания.....53
Раздел 3. Анализ полей температуры, влажности и давления воздуха по картам погоды.....59
3.1. Приземная карта погоды.....59
3.2. Карты абсолютной и относительной барической топографии.....62
3.2.1. Барометрическая формула геопотенциала.....62

3.2.2. Метод барической топографии....64
3.2.3. Расшифровка метеоэлементов на карте
абсолютной барической топографии....66
Контрольные вопросы....67
Тестовые задания....69
Раздел 4. Ветер....71
4.1. Силы, действующие в атмосфере на воздушную частицу....71
4.2. Ветер в свободной атмосфере....74
4.3. Ветер в пограничном слое атмосферы....76
4.4. Изменение ветра с высотой в слое трения....78
4.5. Суточный ход ветра в слое трения....79
4.6. Термический ветер....80
4.7. Изменение ветра с высотой в свободной атмосфере....82
4.8. Информация о ветре, используемая при оценке
метеорологических условий на аэродроме....84
4.9. Информация о ветре, используемая при оценке
метеорологических условий в свободной атмосфере....86
4.10. Местные ветры....87
Контрольные вопросы....89
Тестовые задания....91
Раздел 5. Вертикальные движения в атмосфере....96
5.1. Роль вертикальных движений в формировании погоды....96
5.2. Конвекция....97
5.3. Восходящее скольжение....98
5.4. Динамическая турбулентность....99
5.5. Волновые движения в атмосфере....100
5.6. Адиабатические процессы в атмосфере....101
5.7. Уровни конденсации и конвекции. Кривая состояния....103
5.8. Устойчивость стратификации атмосферы....104
5.9. Аэрологическая диаграмма....105
Контрольные вопросы....107
Тестовые задания....109
Раздел 6. Облака и атмосферные осадки....113
6.1. Роль информации об облачности при оценке
метеорологических условий полета....113
6.2. Классификация облаков....114

6.3. Структура и изменчивость высоты нижней границы облаков (НГО).....118
6.4. Наблюдение за облаками на аэродроме.....119
6.5. Атмосферные осадки.....120
Контрольные вопросы.....122
Тестовые задания..... 124
Раздел 7. Видимость и атмосферные явления, ее ухудшающие.....128
7.1. Горизонтальная видимость.....128
7.1.1. Факторы, определяющие дальность видимости..... 128
7.1.2. Метеорологическая дальность видимости
и дальность видимости огня.....131
7.1.3. Дальность видимости на ВПП.....134
7.1.4. Наклонная дальность видимости.....136
7.2. Метеорологические явления, ухудшающие видимость..... 137
Контрольные вопросы.....141
Тестовые задания..... 143
Раздел 8. Синоптические процессы в атмосфере.....148
8.1. Синоптические объекты.....148
8.2. Общая циркуляция атмосферы.....150
8.3. Воздушные массы.....153
8.3.1. Характеристики воздушной массы.....153
8.3.2. Географическая классификация воздушных масс.....154
8.3.3. Термодинамическая классификация воздушных масс.....155
8.4. Атмосферные фронты.....156
8.4.1. Понятие атмосферного фронта.....156
8.4.2. Классификация атмосферных фронтов.....158
8.4.3. Перемещение и эволюция атмосферных фронтов.....161
8.4.4. Высотная фронтальная зона.....163
8.4.5. Условия погоды вблизи теплых фронтов.....164
8.4.6. Условия погоды вблизи холодных фронтов.....166
8.4.7. Условия погоды вблизи фронтов окклюзии.....168
8.5. Циклоны и антициклоны.....169
8.5.1. Возникновение циклонов и антициклонов.....169
8.5.2. Стадии развития циклона.....170
8.5.3. Стадии развития антициклона.....172
8.5.4. Перемещение циклонов и антициклонов.....173
Контрольные вопросы.....174
Тестовые задания.....178

Раздел 9. Опасные для авиации явления погоды.....189
9.1. Обледенение ВС в полете.....189
9.1.1. Причины обледенения ВС и его влияние на полеты.....189
9.1.2. Интенсивность обледенения ВС в полете и факторы, влияющие на него.....190
9.1.3. Виды и формы отложения льда на ВС в полете.....192
9.1.4. Кинетический нагрев ВС.....193
9.1.5. Синоптические условия обледенения ВС в полете.....194
9.1.6. Температурные условия обледенения ВС в полете.....195
9.1.7. Особенности обледенения ВС в облаках разных форм.....196
9.1.8. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению безопасности полетов в условиях обледенения.....197
9.2. Наземное обледенение.....199
9.2.1. Виды наземного обледенения и условия их возникновения.....199
9.2.2. Обледенение ВПП.....201
9.2.3. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению БП в условия наземного обледенения.....203
9.3. Атмосферная турбулентность.....204
9.3.1. Атмосферная турбулентность и болтанка ВС.....204
9.3.2. Причины и виды атмосферной турбулентности.....206
9.3.3. Пространственные размеры турбулентных зон в атмосфере.....209
9.3.4. Обнаружение и прогноз зон атмосферной турбулентности.....210
9.3.5. Рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зонах атмосферной турбулентности.....212
9.3.6. Рекомендации органам УВД по обеспечению БП в зонах атмосферной турбулентности.....213
9.4. Грозы.....214
9.4.1. Грозы как атмосферное явление.....214
9.4.2. Типы грозовых облаков.....216
9.4.3. Стадии развития грозовой ячейки.....218
9.4.4. Классификация гроз.....219
9.4.5. Опасные явления погоды, связанные с конвективными облаками.....221
9.4.6. Рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зоне грозовой деятельности.....223

9.4.7. Рекомендации органам УВД по обеспечению БП
в зоне грозовой деятельности.....225
9.5. Поражение ВС электрическими разрядами
вне зон конвективной деятельности.....226
9.5.1. Электрическое поле атмосферы и электризация ВС.....226
9.5.2. Синоптические и метеорологические условия поражения ВС
электростатическими разрядами.....229
9.5.3. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД
по обеспечению БП в зоне повышенной
электрической активности атмосферы.....230
9.6. Сдвиги ветра в приземном слое атмосферы.....231
9.6.1. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку ВС.....231
9.6.2. Синоптические, метеорологические и орографические условия
возникновения сдвигов ветра.....233
9.6.3. Обнаружение сдвига ветра на аэродроме.....235
9.6.4. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД
по обеспечению безопасности взлетов и посадок ВС
в условиях сдвига ветра.....236
Контрольные вопросы.....237
Тестовые задания..... 240
Заключение.....248
Сокращения, используемые в тексте.....249
Рекомендуемая литература.....251
Библиографический список..... 252

Предисловие

Классическое определение авиационной метеорологии как науки дано А.М. Барановым и С.В. Солониным в учебнике для студентов-метеорологов: «авиационная метеорология – прикладная отрасль метеорологии, изучающая влияние метеорологических величин и атмосферных явлений на авиационную технику и деятельность авиации и разрабатывающая теоретические основы метеорологического обеспечения полетов» [6, с. 4]. В этом же учебнике указывается, что задачей авиационной метеорологии как учебной дисциплины является обеспечение знаниями по двум взаимосвязанным группам вопросов: как метеорологические величины и атмосферные явления влияют на полеты летательных аппаратов и как обеспечить безопасность, регулярность и экономичность полетов в метеорологическом отношении. Это определение задач авиационной метеорологии как дисциплины перенесено во все учебные пособия и учебники по авиационной метеорологии для курсантов авиационных училищ, что, на наш взгляд, не совсем верно.

Студенты-метеорологи изучают метеорологические факторы по различным метеорологическим дисциплинам: физике атмосферы, климатологии, синоптической, динамической, радиолокационной, спутниковой метеорологии. Курсанты авиационного училища эти дисциплины не изучают, но зато они изучают основы аэродинамики и динамики полета, самолетовождение, безопасность полетов, практическую аэродинамику, технологию УВД и другие специальные авиационные дисциплины. Поскольку задачи учебной дисциплины должны быть сформулированы на основе учета междисциплинарных связей, то можно сделать вывод, что задачи авиационной метеорологии как учебной дисциплины в авиационном училище должны отличаться от тех задач, что определены в учебниках для студентов-метеорологов. Следовательно, содержание учебного пособия по авиационной метеорологии для курсантов авиационного училища должно иметь специфику.

Нельзя отождествлять авиационную метеорологию как науку с авиационной метеорологией как дисциплиной. Задачи науки и дисциплины авиационной метеорологии различны. Наука исследует реальную действительность, которая называется объектом науки. Наука является посредником между этой

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

действительностью и познающим субъектом. На уровне учебной дисциплины наука упрощается, обедняется, сужается до понимания ее обучающимися.

Что же является объектом и предметом авиационной метеорологии как прикладной науки, развивающейся на стыке метеорологических и авиационных знаний? Из классического определения авиационной метеорологии следует, что эта метеорологическая наука исследует две области реальной действительности (бытия): первая область – это влияние метеорологических элементов (величин и явлений) на полеты ВС; вторая область – метеорологическое обеспечение этих полетов. Под метеорологическим обеспечением понимается деятельность метеорологических органов, которые наблюдают, прогнозируют метеорологические условия на аэродромах, в районе аэродромов и по маршруту полета и предоставляют метеорологическую информацию экипажам ВС, органам УВД.

Казалось бы, поскольку имеются две области бытия – два объекта науки, нужно выделить две области научного знания. По этому пути пошли авторы учебника по авиационной метеорологии для студентов высших учебных заведений гражданской авиации «Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов», изданного в 1993 году. Из названия этого учебника следует, что метеорологическое обеспечение стоит особняком и не является объектом исследования авиационной метеорологии.

На наш взгляд, объектом изучения авиационной метеорологии как науки является часть атмосферы, где осуществляются полеты ВС. Эту часть можно представить как совокупность метеорологических факторов. Таким образом, объектом авиационной метеорологии как науки является совокупность метеорологических факторов, влияющих на полеты ВС.

Одной из проблем этой науки является то, что не все известные метеорологические факторы в настоящее время можно измерить и объективно оценить. Это касается, например, метеорологических условий обледенения и болтанки ВС. Более того, можно предположить, что не все метеорологические факторы в настоящее время известны науке, как, например, несколько десятков лет назад ничего не знали о сдвиге ветра. Выявление метеорологических факторов, влияющих на деятельность авиации, – это одна из проблем авиационной

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

метеорологии. Еще одной проблемой науки является повышение точности авиационных прогнозов. В этом направлении в будущем придется, видимо, много поработать исследователям атмосферы.

С метеорологическими факторами экипажи ВС сталкиваются в полете, изучают их, оценивают степень их влияния на летные характеристики ВС, сообщают о них метеорологам. Метеорологические органы также изучают, измеряют, наблюдают, определяют, оценивают и прогнозируют метеорологические факторы на аэродроме, в районе аэродрома, по маршруту полета.

Предметом авиационной метеорологии как науки являются, на наш взгляд, закономерности влияния метеорологических факторов на деятельность авиации. Закономерности – это существенные, необходимые и повторяющиеся особенности влияния метеорологических факторов на полеты ВС.

Под метеорологическими факторами понимаются не только метеорологические величины и атмосферные явления, но также атмосферные условия и процессы разных масштабов. Понятно, что атмосфера, где осуществляются полеты ВС, так или иначе, влияет на них. Одна из задач авиационной метеорологии заключается в том, чтобы на основе изучения закономерностей влияния метеорологических факторов на деятельность авиации разработать рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению безопасности, регулярности и экономической эффективности полетов ВС.

Авиационная метеорология как наука отличается, например, от аэродинамики, которая тоже изучает влияние физических характеристик атмосферы, обледенения, турбулентности, гроз, сдвига ветра на летные и эксплуатационные характеристики ВС. Специфика авиационной метеорологии в том, что объектом ее изучения является атмосфера как внешняя среда, непосредственно взаимодействующая с ВС в полете или во время его стоянки на земле. Эта наука использует специфические методы исследования, отличающиеся от методов аэродинамики.

Задачи авиационной метеорологии как учебной дисциплины в авиационном училище заключаются в том, чтобы, во-первых, обеспечить курсантов знаниями метеорологических факторов, влияющих на деятельность авиации, а, во-вторых,

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

сформировать у обучаемых умения и навыки по анализу и оценке влияния этих факторов на полеты ВС.

Анализ и оценка метеорологических факторов должны осуществляться в профессиональной деятельности пилота перед полетом и в полете, диспетчера перед началом и в процессе УВД. Заметим, что формирование умений и навыков основывается на знании метеорологических факторов. Иначе говоря, знания являются средством такого формирования.

На основе изучения закономерностей влияния метеорологических факторов на полеты ВС разработаны рекомендации по обеспечению безопасности регулярности и экономической эффективности полетов ВС. Эти рекомендации содержатся в нормативных документах. Курсанты должны знать и уметь использовать их при анализе и оценке метеорологических факторов, принятия решения на вылет и выдачи диспетчерского разрешения.

При создании данного учебного пособия не ставилась цель включить в него как можно больше информации по той или иной проблеме авиационной метеорологии. Наоборот, задача заключалась в том, чтобы выбрать самую существенную информацию о метеорологических факторах, необходимую для формирования умений и навыков, связанных с оценкой метеорологической обстановки, с принятием решения на вылет и с выдачей диспетчерского разрешения.

Пособие можно назвать многоуровневым по следующим признакам. Во-первых, оно предназначено для курсантов, обучающихся по двум специальностям, а также оно может использоваться слушателями авиационного учебного центра, имеющими различный уровень метеорологической подготовки. Во-вторых, пособие предусматривает три уровня усвоения учебного материала.

Первый уровень характеризуется воспроизведением усвоенных знаний от буквальной их копии до применения в типовых ситуациях. Деятельность этого уровня называется воспроизведением. Знания, лежащие в основе воспроизведения называются знаниями-копиями.

Второй уровень – это такой уровень усвоения информации, при котором не только воспроизводится, но и преобразуется усвоенная информация для

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

применения ее в различных нетиповых ситуациях. Деятельность этого уровня называется применением. Знания, лежащие в основе этой деятельности – это знания-умения.

Третий уровень характеризуется тем, что учащийся способен добывать и создавать новую информацию, причем, новой она может быть не только для него самого, но и для других. Деятельность этого уровня называют творчеством.

Желаемые уровни усвоения различных разделов учебного пособия представлены в таблице.

Разделы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уровни усвоения									
диспетчеров	1	2	2	1	1	2	2	2	3
линейных пилотов	1	2	2	2	1	2	2	2	3
пилотов-любителей	1	1	1	1	1	1	1	1	1

В пособии имеются вопросы и тестовые задания для самостоятельной работы. Вопросы повышенной сложности помечены звездочкой. Поиск ответа на эти вопросы связан с творческой деятельностью обучающихся.

Автор надеется, что пособие выполнит главную свою функцию – информационную, а также послужит руководством познавательной деятельности курсантов, обеспечивая высокий уровень усвоения учебного материала. Пособие направлено на экономию времени обучаемых и преподавателей на аудиторных занятиях, поскольку при его наличии отпадает необходимость давать под запись содержание лекции.

Автор благодарен преподавателям и сотрудникам кафедры УВД за помощь при подготовке учебного пособия к изданию.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ВВЕДЕНИЕ

Авиационная метеорология как наука бурно развивается с начала XX века в связи с увеличением количества полётов всё более совершенных ВС.

Авиационная метеорология – прикладная метеорологическая наука, которая изучает закономерности влияния метеорологических факторов на деятельность авиации.

Объектом науки является часть атмосферы, где осуществляются полеты ВС, – тропосфера, тропопауза, нижняя стратосфера. Эту часть атмосферы можно представить как совокупность метеорологических факторов. **Предметом науки** являются закономерности влияния этих факторов на деятельность авиации.

Метеорологические факторы – это атмосферные процессы и метеорологические условия, которые могут прямо или косвенно повлиять на безопасность, регулярность и экономическую эффективность полетов ВС. К ним относятся физические характеристики состояния атмосферы, метеорологические величины и явления, горизонтальные и вертикальные движения воздуха в атмосфере, синоптические объекты (атмосферные фронты, воздушные массы, барические системы, струйные течения), метеорологические условия обледенения, болтанки, электризации ВС, сдвига ветра.

Метеорологические факторы количественно измеряются и/или качественно описываются, анализируются и оцениваются с точки зрения их влияние на деятельность авиации.

Главная задача авиационной метеорологии как науки – обеспечение безопасности, регулярности и экономической эффективности полётов ВС.

Методы авиационной метеорологии как науки разнообразны. К ним относятся: наблюдение; моделирование; синоптический, термодинамический, математический, физико-статистический, сравнительно-сопоставительный, индуктивно-дедуктивный методы.

Цель обучения авиационной метеорологии курсантов в высшем авиационном училище заключается в том, чтобы научить их использовать метеорологическую информацию при анализе и оценке метеорологических условий полётов ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Анализ и оценка метеорологических факторов осуществляются в профессиональной деятельности авиационных специалистов. В результате изучения авиационной метеорологии курсанты должны **уметь** анализировать и оценивать метеорологические условия на аэродромах вылета, назначения, запасных, по маршруту полёта ВС. Анализ и оценка необходимы при принятии решения на вылет и выдаче диспетчерского разрешения.

Задача авиационной метеорологии как учебной дисциплины в высшем авиационном училище состоит в том, чтобы дать курсантам **знания**: о закономерностях формирования метеорологических факторов; об изменчивости этих факторов во времени и пространстве; о закономерностях влияния метеорологических факторов на деятельность авиации; о формах предоставления авиационным специалистам метеорологической информации.

В результате изучения дисциплины курсанты должны **иметь представление** о методах наблюдения за метеорологическими факторами, а также о методах прогноза погоды.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 1

АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ, ЕЕ СОСТАВ И СТРОЕНИЕ

1.1. Общие сведения об атмосфере

Атмосфера – воздушная оболочка Земли, участвующая в ее суточном и годовом вращении. Масса атмосферы примерно в миллион раз меньше массы Земли. Резкой верхней границы атмосферы не существует. Атмосфера постепенно переходит в межпланетную среду, в которой содержится около 100 газовых частиц в 1 $см^3$. Такая концентрация наблюдается на высоте 20-30 тыс. км над поверхностью земли. Эту высоту можно считать верхней границей атмосферы.

Иногда за верхнюю границу атмосферы принимают высоту 1000 км, до которой преобладают ионы кислорода и азота. Выше 1000 км преобладают гелий и водород. Примерно 50 % всей массы атмосферы содержится в ее нижнем пятикилометровом слое, 75 % – до высоты 10 км, 95 % – до 20 км, 99,9 % – до 100 км.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

1.2. Стандартная атмосфера

Стандартная атмосфера (СА) – расчетная атмосфера со средним распределением физических характеристик по высоте, соответствующим широте 45° с. ш. Характеристики СА рассчитаны по барометрическим формулам и уравнению состояния атмосферного воздуха на основе следующих констант: на уровне моря температура воздуха – 15 °С; давление воздуха – 760 мм рт. ст.; плотность воздуха – 1,225 кг/м^3; влажность воздуха в СА равна 0; ускорение свободного падения – 9,8 м/с^2; молярная масса – 29 г/моль; скорость звука – 340 м/с; вертикальный градиент температуры в слое от уровня моря до высоты 11 км равен 0,65 °С/100 м; высота тропопаузы – 11 км; температура на уровне тропопаузы – -56,5 °С; от тропопаузы до высоты 20 км температура постоянна; ветер в СА отсутствует.

СА используется при приведении результатов летных испытаний ВС к стандартным условиям, а также для оценки фактических летно-эксплуатационных характеристик, зависящих от состояния реальной атмосферы.

Стандартная барометрическая высота – высота в СА, на которой атмосферное давление равно фактическому давлению на уровне полета.

Эквивалентная высота (высота по плотности воздуха) – высота в СА, на которой плотность воздуха равна фактической плотности на уровне полета. Эта высота используется в расчетах летно-технических характеристик ВС при взлете и посадке ВС на горных аэродромах.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

1.3. Состав атмосферы

Реальная атмосфера – это механическая смесь газов, которые можно разделить на *основные газовые составляющие* и *малые газовые составляющие*. К первым относятся азот и кислород. Ко вторым – водяной пар, аргон, углекислый газ, неон, гелий, водород, ксенон, озон. В СА содержится по объему 78 % азота, 21 % кислорода, 0,93 % аргона, 0,03 % углекислого газа. На долю других газов приходится примерно 0,04 %. В состав реальной атмосферы, кроме газов, входят твердые и жидкие примеси – *аэрозоли* естественного и антропогенного происхождения.

Водяной пар, *углекислый газ*, *озон* являются парниковыми газами, активными в радиационном и химическом отношении. Их содержание в атмосфере существенно изменяется в различных районах земного шара, поэтому эти газы называют переменными газовыми составляющими. Содержание водяного пара в атмосфере по объему колеблется от значений, близких к 0, до 5 %. На широте 70° с. ш. среднее объемное содержание водяного пара – 0,2 %, на экваторе – 2,6 %. Содержание углекислого газа в Арктике и Антарктике – 0,02 %, а в промышленных районах – в два раза больше. Объемное содержание озона в атмосфере составляет 10^{-5} %.

Общее содержание озона в атмосфере, если его привести к давлению 1013 гПа и температуре 0°С, колеблется от 1 до 6 мм (в среднем 3 мм). Эта величина называется *приведенной толщиной слоя озона*. Приведенная толщина слоя кислорода в среднем составляет 1,5 км, а азота – 6 км. Годовой ход содержания озона в атмосфере характеризуется максимумом весной, а минимумом – осенью. Наибольшее содержание озона на земном шаре – в высоких широтах северного полушария (70-75° с. ш.). В тропической зоне (между 30° с. ш. и 30° ю. ш.) приведенная толщина слоя озона невелика. Озон наблюдается от поверхности земли до верхней границы стратосферы (50 км). Основная масса озона содержится в озоносфере, которая совпадает со стратосферой (11-50 км).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

1.4. Строение атмосферы

Атмосфера делится на слои по следующим признакам: по химическому составу воздуха и наличию ионов; по распределению температуры по высоте; по взаимодействию атмосферы с поверхностью земли; по влиянию атмосферы на летательные аппараты.

По составу воздуха атмосфера делится на гомосферу, гетеросферу, озоносферу, ионосферу, нейтросферу. В *гомосфере* состав воздуха и его молекулярный вес не изменяется с высотой в связи с перемешиванием воздуха. Гомосфера простирается до высоты 100 км. В *гетеросфере* – выше 100 км – молекулярный вес воздуха уменьшается с увеличением высоты в связи с гравитационным разделением газов. В гетеросфере с высотой содержание тяжелых газов уменьшается быстрее, чем содержание легких газов. Выше 50 км содержание ионов (заряженных частиц) резко увеличивается, на этих высотах располагается *ионосфера*, а ниже 50 км – *нейтросфера*.

По взаимодействию атмосферы с подстилающей поверхностью выделяют пограничный слой и свободную атмосферу. *Подстилающая (деятельная) поверхность* – это поверхность земли, взаимодействующая с атмосферой. В пограничном слое атмосферы (*слое трения*), который простирается до высоты примерно 1-1,5 км, на характер движения воздуха оказывает влияние сила трения; хорошо выражены суточные изменения метеорологических величин (температуры, влажности воздуха, ветра и др.). Внутри пограничного слоя выделяется *приземный слой* атмосферы до высоты 50-100 м, в пределах которого метеорологические величины резко изменяются с высотой. В *свободной атмосфере* сила трения близка к нулю.

В зависимости от распределения температуры по высоте, которое называется *стратификацией атмосферы*, выделяют пять основных слоев и четыре переходных слоя. Основные слои – тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера. Переходные слои – тропопауза, стратопауза, мезопауза, термопауза. Высоты переходных слоев могут значительно отклоняться от средних значений в зависимости от географической широты, времени года, синоптической обстановки.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

В высоких широтах *тропосфера* простирается до высоты 8-10 км, в умеренных широтах – до 10-12 км, а в тропической зоне – до 16-18 км. До *тропопаузы* температура воздуха с высотой понижается. В *стратосфере* температура воздуха повышается с увеличением высоты. Повышение температуры связано с поглощением озоном жесткого ультрафиолетового излучения. На высоте 20 км наблюдаются перламутровые облака, имеющие радужную окраску и состоящие из ледяных кристаллов. В верхней стратосфере бывают зимние стратосферные потепления, когда температура воздуха повышается до 26 °С.

В *мезосфере,* которая располагается выше *стратопаузы,* температура воздуха понижается с высотой. В верхней мезосфере на высоте около 80 км могут наблюдаться серебристые облака, состоящие из ледяных кристаллов, а температура воздуха может понижаться до -140 °С.

В зависимости от влияния на летательные аппараты атмосфера делится на *плотные слои атмосферы* (до 150 км) и ок*олоземное космическое пространство* (выше 150 км). В пределах плотных слоев атмосферы летательный аппарат с выключенным двигателем не может совершить хотя бы один оборот вокруг Земли: он потеряет скорость или сгорит.

По высоте орбиты искусственные спутники Земли (ИСЗ) делятся на три группы:

– низкоорбитальные ИСЗ, запускаемые на высоты от 200 до 500 км (орбитальные космические станции);

– среднеорбитальные ИСЗ, запускаемые на высоты от 500 до 900 км (метеорологические спутники);

– высокоорбитальные ИСЗ, запускаемые на высоты десятки тысяч километров (геостационарные спутники).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Дайте определение атмосферы.
2. Какова высота верхней границы атмосферы?
3. Дайте определение стандартной атмосферы.
4. Чему равна температура воздуха на уровне моря в СА?
5. Чему равно давление воздуха на уровне моря в СА?
6. Чему равна плотность воздуха на уровне моря в СА?
7. Чему равна влажность воздуха в СА?
8. Чему равен вертикальный градиент температуры в слое 0-11 км в СА?
9. Как изменяется температура воздуха от уровня моря до высоты 20 км в СА?
10. Какие задачи решаются в авиации с помощью СА?
11. Дайте определение стандартной барометрической высоты.
12. Дайте определение эквивалентной высоты.
13. Назовите основные газовые составляющие атмосферы.
14. Назовите малые газовые составляющие атмосферы.
15. Что вы знаете о переменных газовых составляющих атмосферы?
16. Каково содержание основных газовых составляющих атмосферы?
17. Охарактеризуйте роль и содержание водяного пара, углекислого газа и озона в атмосфере.
18. Дайте определение озоносферы.
19. Назовите признаки деления атмосферы на слои.
20. Чем гомосфера отличается от гетеросферы и до какой высоты она простирается?
21. Почему в гомосфере не происходит гравитационное разделение газов?
22. Чем ионосфера отличается от нейтросферы?
23. Дайте определение подстилающей поверхности.
24. Дайте определение пограничного слоя атмосферы.
25. Дайте определение приземного слоя атмосферы.
26. Дайте определение свободной атмосферы.
27. Что такое стратификация атмосферы?
28. Дайте определение тропосферы.
29. Дайте определение тропопаузы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

30. Что такое стратосфера?

31. На какой высоте находится тропопауза в СА?

32. Какая температура на уровне тропопаузы в СА?

33. Как изменяется высота тропопаузы в зависимости от географической широты?

34. На каких высотах наблюдаются перламутровые и серебристые облака?

35. Чем отличаются плотные слои атмосферы от околоземного космического пространства?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. В гомосфере преобладает…

а) кислород;

б) азот;

в) углекислый газ;

г) водород.

2. Химический состав воздуха изменяется с высотой в…

а) гомосфере;

б) тропосфере;

в) стратосфере;

г) гетеросфере.

3. Озоносфера совпадает с…

а) гетеросферой;

б) термосферой;

в) стратосферой;

г) мезосферой.

4. К малым газовым составляющим относятся…

а) азот, углекислый газ;

б) аргон, неон, гелий, криптон, кислород;

г) азот, водород.

5. В годовом ходе максимум содержания озона в атмосфере наблюдается…

а) осенью;

б) зимой;

в) весной;

г) летом.

6. Максимум содержания озона в атмосфере наблюдается в…

а) тропосфере;

б) высоких широтах северного полушария;

в) низких широтах северного полушария;

г) мезосфере.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

7. Многолетняя совокупность погодных условий, характерная для той или иной местности, – это…

а) погода;

б) атмосфера;

в) климатология;

г) климат.

8. Гелий и водород в атмосфере преобладают…

а) в ее нижних слоях;

б) выше 100 км;

в) выше 1000 км;

г) в мезосфере.

9. Масса атмосферы…

а) больше массы Земли в миллион раз;

б) меньше массы Земли в миллион раз;

в) больше массы гидросферы;

г) меньше массы живого вещества на Земле.

10. Расчетная атмосфера со средним распределением физических характеристик по высоте, соответствующим широте 45° с. ш., – это…

а) однородная атмосфера;

б) реальная атмосфера;

в) стандартная атмосфера;

г) изотермическая атмосфера.

11. Температура воздуха в СА на высоте 200 м над уровнем моря равна…

а) нулю;

б) 15 °С;

в) 14 °С;

г) 16 °С.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

12. Влажность воздуха в СА равна…

а) нулю;

б) 100 %;

в) 50 %;

г) 60 %.

13. Температура воздуха на уровне тропопаузы в СА равна…

а) нулю;

б) -45 °С;

в) -56 °С;

г) -50 °С.

14. Давление воздуха в СА на уровне моря…

а) 1000 гПа;

б) 750 мм рт. ст.;

в) 29,92 дюйма рт. ст.;

г) 1020 мб.

15. Температура воздуха с увеличением высоты в СА в слое 11-20 км…

а) не изменяется;

б) сначала постоянна, а затем растет;

в) сначала постоянна, а затем падает;

г) сначала растет, а затем постоянна.

16. Тропопауза является…

а) задерживающим слоем;

б) однородным слоем;

в) границей между пограничным слоем и свободной атмосферой;

г) границей ионосферы.

17. Околоземное космическое пространство начинается с высоты…

а) тропопаузы;

б) стратопаузы;

в) 150 км;

г) 1000 км.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

18. Физическое состояние атмосферы в определенный момент времени – это…

а) климат;

б) погода;

в) СА;

г) тропосфера.

19. При приведении результатов летных испытаний ВС к стандартным условиям используется…

а) однородная атмосфера;

б) СА;

в) молярная масса;

г) уравнение состояния.

20. В СА ветер…

а) слабый;

б) средний для широты 45° с. ш.;

в) отсутствует;

г) средний для всех высот.

21. Высота в СА, на которой давление воздуха равно фактическому давлению на эшелоне полета, называется…

а) эквивалентной;

б) барометрической;

в) геопотенциальной;

г) относительной.

22. Высота в СА, на которой плотность воздуха равна фактической плотности на эшелоне полета, называется…

а) эквивалентной;

б) барометрической;

в) геопотенциальной;

г) относительной.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

23. Стратификация атмосферы – это…

а) состав воздуха;

б) стратосфера;

в) строение атмосферы;

г) распределение температуры воздуха по высоте.

24. Гравитационное разделение газов в атмосфере наблюдается в…

а) гомосфере;

б) стратосфере;

в) гетеросфере;

г) тропосфере.

25. Сила трения близка к нулю в …

а) пограничном слое атмосферы;

б) приземном слое атмосферы;

в) свободной атмосфере;

г) слое трения.

26. Поверхность земли, взаимодействующая с атмосферой, называется…

а) слоем трения;

б) подстилающей поверхностью;

в) твердой поверхностью;

г) открытой поверхностью.

27. Слой атмосферы, в котором хорошо выражены суточные изменения метеорологических величин, называется…

а) свободной атмосферой;

б) стратосферой;

в) подстилающей поверхностью;

г) пограничным слоем атмосферы.

28. В высоких широтах тропопауза располагается…

а) выше, чем в низких широтах;

б) на тех же высотах, что и в умеренных широтах;

в) на высотах 16-18 км;

г) на высотах 8-10 км.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

29. Самая низкая температура воздуха в атмосфере наблюдается в…

а) верхней тропосфере;

б) пограничном слое;

в) мезосфере;

г) стратосфере.

30. Перламутровые облака наблюдаются в…

а) стратосфере;

б) мезосфере;

в) тропосфере;

г) тропопаузе.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 2

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

2.1. Температура воздуха

2.1.1. Информация о температуре воздуха, используемая при метеообеспечении полетов

Температура воздуха, используемая при метеорологическом обеспечении полетов ВС, характеризует тепловое состояние воздуха, является характеристикой средней кинетической энергии движения молекул воздуха и потому называется кинетической (истинной) температурой. Пилоты и диспетчеры УВД должны знать и уметь использовать информацию о температуре воздуха при оценке метеорологических условий полета. Эта оценка предполагает учет следующих закономерностей:

– временного и пространственного изменения температуры воздуха;

– влияния температуры воздуха на летно-технические характеристики ВС. Чем выше температура, тем больше длина разбега и пробега, скорость отрыва и посадки ВС. При отклонении температуры воздуха от стандартной температуры изменяется предельно допустимая высота полета ВС. От температуры зависит расход топлива;

– связи температуры воздуха с другими характеристиками состояния атмосферы: давлением, плотностью и влажностью воздуха; не зная температуры воздуха, нельзя определить его плотность, поскольку последняя не измеряется, а рассчитывается с учетом температуры;

– связи температуры воздуха с явлениями погоды, влияющими на деятельность авиации, в том числе и опасными явлениями.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Информация о фактической температуре воздуха в приземном слое атмосферы (на высоте 2 м от поверхности земли) дается в местных сводках фактической погоды на аэродроме, в передачах ATIS, телеграммах METAR, на приземных картах погоды. Температура воздуха на высотах указывается на картах абсолютной барической топографии, карте тропопаузы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.1.2. Методы и точность измерения температуры

Температурой воздуха называют температуру, которую показывает термометр при наличии теплового равновесия между ним и атмосферным воздухом. Термометры бывают жидкостные (ртутные, спиртовые), металлические (термометры сопротивления, биметаллические пластинки), полупроводниковые (термисторы). В автоматических аэродромных метеорологических станциях КРАМС, AWOS, VAISALA используются металлические термометры сопротивления.

В местных сводках фактической погоды на аэродроме и в телеграммах METAR температура воздуха указывается с точностью до 1 °С. На приземную карту погоды температура воздуха наносится с точностью до 0,1 ºС. **Приземная карта погоды** – это географическая карта, на которую наносят данные наблюдений за погодой на синоптических станциях в синоптические сроки (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч).

При измерении температуры воздуха на высотах методом радиозондирования используются полупроводниковые термометры, обеспечивающие точность измерения температуры до 1 ºС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.1.3. Причины и закономерности изменения температуры воздуха

Характер распределения температуры воздуха в тропосфере определяется ее теплообменом с подстилающей поверхностью, которая поглощает примерно в два раза больше солнечной радиации (тепловой энергии), чем тропосфера. Теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферным воздухом осуществляется благодаря радиационной и молекулярной теплопроводности, а также фазовым превращениям воды в атмосфере.

Тонкий слой воздуха, прилегающий к подстилающей поверхности, обменивается с ней теплом вследствие *молекулярной теплопроводности*. Внутри атмосферы теплообмен осуществляется путем *турбулентной теплопроводности.* Молекулярная теплопроводность воздуха мала: молекулярный поток тепла в атмосфере примерно в миллион раз меньше турбулентного потока тепла.

Передача тепла путем излучения называется *радиационной теплопроводностью.* Подстилающая поверхность излучает длинноволновую радиацию с длинами волн от 4 до 120 мкм, которая поглощается нижними слоями тропосферы. Последние, нагреваясь, посредством излучения передают тепло вышележащим слоям. Над сушей теплообмен путем излучения особенно выражен в ночные часы, когда турбулентный теплообмен ослаблен.

При фазовых превращениях воды в атмосфере происходит поглощение или выделение тепловой энергии. При испарении воды с деятельной поверхности температура последней понижается. При конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере происходит выделение тепловой энергии, которая нагревает воздух. **Конденсация** – переход водяного пара в жидкое состояние. **Сублимация** – переход водяного пара в кристаллическое состояние.

В атмосфере перенос тепла осуществляется не только по вертикали, но и по горизонтали вследствие адвекции. **Адвекция** – горизонтальное перемещение воздушных масс вдоль поверхности земли. Периодические изменения температуры воздуха на аэродроме (суточные, сезонные, годовые) связаны с теплообменом по вертикали. Непериодические изменения температуры воздуха связаны с адвекцией.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Днем подстилающая поверхность поглощает солнечную радиацию и нагревается. Излучение земной поверхностью длинноволновой радиации происходит постоянно в течение суток. Вследствие этого максимальная температура воздуха вблизи поверхности земли наблюдается в послеполуденные часы – в 14-15 часов местного времени, а минимальная температура – в момент, близкий к восходу солнца. Изменение температуры воздуха в течение суток называется *суточным ходом температуры*. Он наиболее ярко выражен в пустынях и менее ярко – над океаном. При адвекции холода или тепла суточный ход температуры воздуха искажается: днем температура воздуха из-за адвекции холода понижается, а ночью – из-за адвекции тепла повышается.

Амплитуда суточного хода температуры воздуха – разница между максимальной и минимальной температурой в течение суток. В вогнутых формах рельефа (котловинах, ложбинах, долинах) она больше, чем над ровной поверхностью, а над последней больше, чем над выпуклыми формами рельефа (горами, холмами, возвышенностями). Эта закономерность носит название *закона Воейкова*.

Нагревание подстилающей поверхности зависит от ее удельной теплоемкости, удельной теплопроводности и отражательной способности (альбедо). Суша нагревается и охлаждается быстрее, чем водная поверхность, поскольку последняя обладает большими величинами теплоемкости и теплопроводности. Альбедо песка и снега больше, чем альбедо пашни, поэтому пашня нагревается сильнее.

Облачность оказывает влияние на нагревание и охлаждение подстилающей поверхности, а значит и прилегающего слоя воздуха: она уменьшает нагревание подстилающей поверхности днем и охлаждение – ночью. Зимой облачность способствует повышению температуры воздуха, а летом, наоборот, понижению.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.1.4. Задерживающие слои

Для количественной оценки изменения температуры воздуха по вертикали используется *вертикальный градиент температуры* γ – изменение температуры воздуха в градусах Цельсия на 100 м высоты. При понижении температуры с высотой $\gamma > 0$, при повышении – $\gamma < 0$, при постоянстве температуры – $\gamma = 0$. *Кривая стратификации* – кривая распределения температуры воздуха с высотой – строится по данным радиозондирования атмосферы.

Задерживающие слои в атмосфере – инверсия, изотермия – играют большую роль в формировании погодных условий. **Инверсия** – слой атмосферы, где $\gamma < 0$, **изотермия** – слой атмосферы, где $\gamma = 0$. Приземные инверсии начинаются от подстилающей поверхности. Инверсии свободной атмосферы возникают на некоторой высоте от земной поверхности. Толщина инверсий изменяется от нескольких метров до 2-3 км. Скачок температуры – разность температуры на границах инверсии – может достигать 10 °С и более.

Приземные инверсии бывают радиационными и адвективными. **Радиационные инверсии** формируются при ясной погоде и слабом ветре летом – ночью, а зимой – в любое время суток. Инверсии достигают максимальной толщины утром на рассвете. Зимние инверсии могут сохраняться несколько недель. **Адвективные инверсии** образуются при натекании теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность.

Инверсии свободной атмосферы называются *инверсиями сжатия*, *оседания* и *антициклоническими инверсиями*. Они образуются в областях повышенного давления, где наблюдаются нисходящие движения воздуха. Опускающийся воздух сжимается и растекается на некоторой высоте, не достигая поверхности земли. Температура опускающегося воздуха возрастает на 1 °С на 100 м высоты.

Фронтальные инверсии связаны с атмосферными фронтами – переходными зонами между теплыми и холодными воздушными массами. Фронтальные инверсии имеют толщину несколько сотен метров.

Задерживающие слои в атмосфере препятствуют развитию восходящих движений воздуха. Под ними происходит скопление водяного пара, твердых частиц (литометеоров), продуктов конденсации и сублимации водяного пара, ухудшаю-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

щих видимость в атмосфере. Инверсии являются слоями разрыва ветра: над и под инверсией наблюдается резкое изменение скорости и направления ветра. С инверсиями связаны опасные для полетов сильные сдвиги ветра – изменения скорости и/или направления ветра в пространстве.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.2. Влажность и плотность воздуха

2.2.1. Информация о влажности воздуха, используемая при метеообеспечении полетов

Пилоты и диспетчеры УВД должны знать и уметь использовать информацию о влажности воздуха при оценке метеорологических условий полета. Эта оценка предполагает учет следующих закономерностей:

- изменения влажности воздуха во времени и пространстве;
- влияния влажности воздуха на летно-технические характеристики ВС;
- связи влажности воздуха с его температурой, давлением и плотностью;
- связи влажности воздуха с явлениями погоды, влияющими на полеты ВС.

Содержание водяного пара в воздухе называется *влажностью воздуха*. Характеристики влажности воздуха называются *гигрометрическими характеристиками*. При метеорологическом обеспечении полетов используется информация о точке росы, дефиците точки росы и относительной влажности воздуха.

Точка росы – температура, при которой воздух достигает состояния насыщения по отношению к ровной водной поверхности при данном содержании водяного пара и постоянном атмосферном давлении. Точка росы равна температуре воздуха при состоянии насыщения. *В ненасыщенном воздухе точка росы всегда ниже температуры воздуха*. На приземных картах погоды точка росы указывается с точностью до 0,1 °С. В местных сводках фактической погоды на аэродроме и в телеграммах METAR точка росы дается в целых градусах Цельсия.

Дефицит точки росы – разность между температурой воздуха и точкой росы. При насыщении воздуха водяным паром дефицит точки росы равен 0. Чем меньше дефицит точки росы, тем ближе воздух к состоянию насыщения, тем больше вероятность тумана. Дефицит точки росы указывается на картах абсолютной барической топографии.

Относительная влажность воздуха – отношение фактического содержания водяного пара в воздухе к максимально возможному содержанию водяного пара при данной температуре воздуха. При насыщении воздуха водяным паром

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

относительная влажность его равна 100 %. Относительная влажность воздуха дается в местных сводках погоды на аэродроме.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.2.2. Методы определения влажности воздуха

На аэродромах влажность воздуха определяется с помощью гигрометрического и психрометрического методов. *Гигрометры* и *психрометрические установки (психрометры)* размещаются на высоте 2 м от поверхности земли. Гигрометры служат для измерения относительной влажности воздуха. Действие волосного гигрометра основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину в зависимости от влажности воздуха: чем больше влажность, тем длиннее волос.

В основе психрометрического метода лежит измерение температуры воздуха сухим и смоченным термометрами. С помощью психрометрических таблиц по измеренным значениям температуры сухого и смоченного термометров можно определить все гигрометрические характеристики: точку росы, относительную влажность, давление водяного пара, давление насыщенного водяного пара, абсолютную влажность, удельную влажность воздуха.

Водяной пар, как и другие газы атмосферы, создает давление. Давление (упругость) водяного пара выражается в гектопаскалях (миллибарах). Давление водяного пара у земной поверхности на земном шаре меняется от сотых долей гектопаскаля (при низких температурах) до 35 гПа и более (при высоких температурах). Давление водяного пара в состоянии насыщения называется давлением насыщенного водяного пара (упругостью насыщения). Чем выше температура воздуха, тем больше давление насыщенного водяного пара.

Упругость насыщения над выпуклой поверхностью воды (над каплей) меньше, чем над ровной поверхностью воды, и надо льдом меньше, чем над водой. Эта закономерность играет большую роль в процессе образования атмосферных осадков (см. разд. 6.5).

Абсолютная влажность (плотность водяного пара) – это масса водяного пара, содержащегося в единичном объеме влажного воздуха. Насыщающая абсолютная влажность – это максимально возможная абсолютная влажность при данной температуре воздуха. Удельная влажность – масса водяного пара в

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

единичной массе влажного воздуха. Насыщающая удельная влажность – максимально возможная удельная влажность при данной температуре воздуха.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.2.3. Влияние влажности на плотность воздуха

Плотность воздуха – это масса воздуха в единичном объеме. Она не измеряется, а рассчитывается по уравнению состояния воздуха по измеренным значениям давления и температуры воздуха

$$\rho = \frac{P}{RT}, \qquad (2.1)$$

где ρ – плотность воздуха;

P – давление воздуха;

T – температура воздуха, ºК;

R – удельная газовая постоянная сухого воздуха.

При полете на эшелоне, где атмосферное давление постоянно, плотность воздуха обратно пропорционально зависит от температуры, согласно уравнению (2.1).

Плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха, т.к. молярная масса водяного пара равна 18, а молярная масса сухого воздуха – 29. Влияние влажности воздуха на его плотность учитывается с помощью понятия виртуальной температуры. **Виртуальная температура** – это температура, которую имел бы при данном атмосферном давлении сухой воздух той же плотности, что и влажный.

С введением виртуальной температуры уравнение состояния влажного воздуха по виду становится аналогичным уравнению состояния сухого воздуха. Разница заключается в том, что в уравнении состояния влажного воздуха вместо кинетической температуры учитывается расчетная виртуальная температура. Виртуальная температура (T_v) рассчитывается по формуле

$$T_v = T(1+0.608q), \qquad (2.2)$$

где T_v – кинетическая температура влажного воздуха, ºК;

q – удельная влажность воздуха, г/г.

Виртуальная температура отличается от измеренной температуры воздуха на величину виртуального добавка. Виртуальный добавок (ΔT_v) рассчитывается по формуле

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

$$\Delta T_v = 0{,}608q \cdot T. \qquad (2.3)$$

При относительной влажности воздуха, равной 100 %, виртуальный добавок принимает максимальное значение. При давлении воздуха 1000 гПа, относительной влажности 100 % и температуре 30 ºС величина виртуального добавка равна 5 ºС. При этих условиях влажный воздух легче сухого примерно на 2 %.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.3. Атмосферное давление

2.3.1. Данные об атмосферном давлении, используемые в авиации

Давление атмосферы – это сила, с которой атмосфера давит на единичную горизонтальную площадку. При метеорологическом обеспечении полетов, при анализе и оценке условий погоды используются пять значений давления воздуха, которые обозначаются так: QFE, QNH, QNE, QFF, $P_{мин.прив}$.

Давление QFE – атмосферное давление на аэродроме, соответствующее уровню порога ВПП рабочего курса посадки. QFE дается в местных сводках фактической погоды на аэродроме, в передачах ATIS, сообщается диспетчером УВД экипажу на борт ВС перед посадкой для установки высотомера. Это давление указывается в мм рт. ст. с округлением в меньшую сторону до целых значений. В телеграммах METAR после сокращения RMK оно дается не только в мм рт. ст., но и в гектопаскалях. Один гектопаскаль (гПа) равен одному миллибару и составляет $^{3}/_{4}$ мм рт. ст.

Давление QNH – давление воздуха на аэродроме, приведенное к уровню моря по условиям СА. Приведение осуществляется с помощью барометрической формулы. Давление QNH указывается в телеграммах METAR в гектопаскалях с округлением до целых значений в меньшую сторону после буквы Q. Например, Q1000 означает, что QNH равно 1000 гПа. В международной практике QNH используется для установки высотомера и в телеграммах METAR может указываться в дюймах рт. ст. после буквы А. Например. А2992 означает, что QNH составляет 29,92 дюйма рт. ст. (inches).Один дюйм равен примерно 25 мм.

Если ВС находится на ВПП, и на шкале высотомера установлено давление QNH, то высотомер должен с достаточной точностью показывать высоту аэродрома относительно уровня моря. Если установлено давление QFE, то высотомер должен показывать нулевую высоту.

Давление QNE – это стандартное давление на уровне моря, которое составляет 760 мм рт. ст. (1013 гПа или 29,92 дюйма рт. ст.).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Давление QFF определяется на синоптических станциях и наносится на приземные карты погоды в гектопаскалях с точностью до 0,1 гПа. QFF – давление на станции, приведенное к уровню моря не по СА, а по фактическим погодным условиям – с учетом измеренных значений температуры и влажности воздуха.

Все синоптические станции располагаются на разных высотах относительно уровня моря, поэтому величины давления воздуха, измеренные на этих станциях, нельзя сравнивать. Данные об атмосферном давлении приводятся к уровню моря, чтобы их можно было использовать в целях анализа и прогноза погоды на аэродромах. На земном шаре QFF изменяется от 1085 гПа в сибирском антициклоне до 877 гПа в тропическом циклоне. Чаще всего оно изменяется в пределах от 950 до 1040 гПа.

Минимальное приведенное давление $P_{мин.\ прив.}$ сообщается в прогнозах по площадям при обслуживании полетов на малых высотах. Это давление в практике метеообеспечения полетов определяется по приземным картам погоды и дается в мм рт. ст. с округлением до целых значений в меньшую сторону.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.3.2. Методы и точность измерения атмосферного давления

Самым точным прибором для измерения атмосферного давления на метеорологических станциях является ртутный чашечный барометр, который обеспечивает точность до 0,1 гПа.

Датчик давления станции КРАМС обеспечивает точность до 0,5 гПа, которая является достаточной для целей производства полетов ВС. Приемником атмосферного давления в этом датчике является вакуумированный сильфон – металлическая камера с гофрированной боковой поверхностью. Усилие, развиваемое сильфоном под действием атмосферного давления, измеряется автоматическим силокомпенсационным устройством. Измерение атмосферного давления преобразуется в пропорциональное изменение электрического сопротивления.

Датчик давления станции КРАМС является усовершенствованной модификацией барометра-анероида, принцип действия которого заключается в измерении деформации упругой вакуумированной гофрированной металлической коробки под действием атмосферного давления.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.3.3. Изменение атмосферного давления по высоте

Знание закономерностей изменения атмосферного давления во времени и пространстве для диспетчера УВД и пилота необходимо, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, основным методом определения высоты в авиации является барометрический метод; во-вторых, с изменением атмосферного давления во времени и пространстве связано изменение погоды.

Если вертикальные и горизонтальные движения воздуха в атмосфере отсутствуют или ими можно пренебречь, то изменение давления с высотой выражается основным уравнением статики атмосферы (ОУСА):

$$-\frac{dp}{dz} = g\rho, \qquad (2.4)$$

где p – давление воздуха;

z – высота;

g – ускорение свободного падения;

ρ – плотность воздуха.

Атмосферное давление убывает с увеличением высоты. На практике эту закономерность впервые выявил Б. Паскаль в XVII в.: с помощью ртутного барометра, изобретенного Э. Торричелли, он измерял давление воздуха у подножия и на вершине горы.

Вертикальный градиент давления воздуха, характеризующий скорость убывания давления с высотой, зависит от плотности воздуха. Ускорение свободного падения незначительно изменяется в зависимости от высоты. Поскольку атмосферный воздух, в отличие от воды, сжимаем, плотность его уменьшается с высотой. Следовательно, с увеличением высоты вертикальный градиент давления уменьшается. Атмосферное давление на каждом уровне равно весу столба воздуха единичного поперечного сечения, высотой от данного уровня до верхней границы атмосферы.

В авиации для характеристики изменения давления воздуха с высотой используется барическая ступень – величина, обратная вертикальному градиенту давления. *Барическая ступень* – высота, на которую надо подняться, чтобы

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

давление уменьшилось на единицу. Барическая ступень (h) определяется по формуле

$$h = \frac{8000}{p} \times (1 + \alpha t), \qquad (2.5)$$

где p – атмосферное давление;

t – температура воздуха, °С;

$\alpha = \frac{1}{273}$.

При повышении температуры воздуха на 1 °С барическая ступень увеличивается на 0,4 % при неизменном давлении. В теплом воздухе при одинаковом давлении барическая ступень больше, чем в холодном воздухе. Барическая ступень используется при расчете безопасных высот полета.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

2.3.4. Барометрические формулы

Барометрические формулы (БФ) – интегралы ОУСА, полученные при различных предположениях относительно изменения температуры и плотности воздуха по высоте. На основе этих формул производится расчет распределения давления и плотности воздуха по высоте в СА, рассчитываются значения давления QFE, QNH, QFF.

Шкала барометра-высотомера градуируется в единицах высоты, являющейся функцией давления, для условий СА. Из принципа работы высотомера следует, что если в полете выдерживается постоянная высота по прибору (эшелон), то ВС перемещается по поверхности равного давления – *изобарической поверхности*.

С помощью барометрических формул находится атмосферное давление на определенном уровне, если известно атмосферное давление на нижнем уровне и средняя температура слоя атмосферы между этими уровнями. В современных системах радиозондирования атмосферы используется методика вычисления атмосферного давления на разных высотах по известному наземному давлению и измеренным значениям высоты, температуры и влажности воздуха.

Метод барометрического нивелирования – это способ определения высоты одного пункта над другим по измеренным значениям атмосферного давления и температуры воздуха в этих пунктах.

В табл. 2.1 представлены характеристики различных моделей сухой атмосферы. В *однородной атмосфере* плотность воздуха постоянна, в *изотермической атмосфере* температура воздуха не изменяется по высоте. *Политропной* называется атмосфера, в которой температура воздуха понижается с увеличением высоты по линейному закону. Стандартная атмосфера от уровня моря до высоты 11 км является политропной ($\gamma = 0{,}65$ °/100 м), а в слое от 11 км до 20 км – изотермической атмосферой с температурой – -56,5 °С. Однородная и изотермическая атмосферы являются частными случаями политропной атмосферы (рис. 2.1).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Таблица 2.1

Модели сухой атмосферы

Название модели	Однородная	Изотермическая	Политронная
Барометрическая формула	$p = p_0 - g\rho z$	$p = p_0 e^{-\frac{gz}{RT}}$	$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T_0 - \gamma z}{T_0}\right)^{\frac{g}{R\gamma}}$
Закон изменения давления	линейный	экспоненциальный	показательный
Плотность воздуха	$\rho = \rho_0$	$\rho = \rho_0 e^{-\frac{gz}{RT}}$	$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{T_0 - \gamma z}{T_0}\right)^{\frac{g}{R\gamma}-1}$
Вертикальный градиент температуры	3,42	0	больше 0
Температура Воздуха	$T = T_0 - 3{,}42 \cdot z : 100$	T_0	$T_0 - \gamma z$:100
Высота атмосферы	$\frac{RT_0}{g}$	бесконечна	$\frac{T_0}{\gamma}$

p_0, T_0, ρ_0 – давление, температура (°К), плотность воздуха на уровне моря;

p, T, ρ – давление, температура °К, плотность воздуха на высоте z;

γ – вертикальный градиент температуры воздуха, °С/100 м;

g – ускорение свободного падения, не зависящее от высоты;

R – удельная газовая постоянная сухого воздуха, равная 287 Дж/кг·град.;

z – высота относительно уровня моря.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

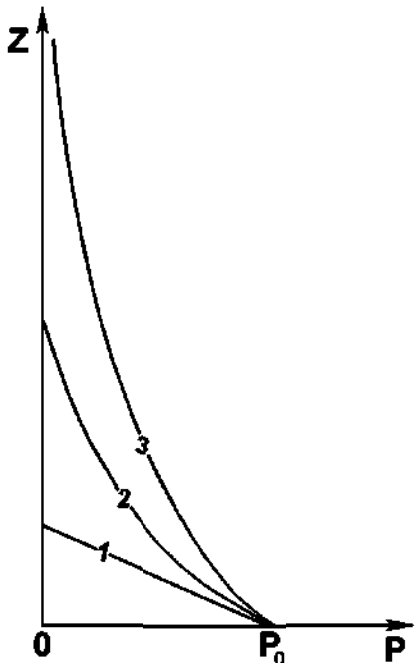


Рис. 2.1. Изменение давления воздуха по высоте в однородной (1), политропной (2) и изотермической (3) атмосферах

Из трех моделей изотермическая атмосфера самая теплая, однородная атмосфера – самая холодная при условии равенства температуры воздуха на уровне моря. Если реальная атмосфера холоднее СА (зимой), то высота полета относительно любого уровня меньше барометрической высоты (высотомер завышает). Если реальная атмосфера теплее СА (летом), то высота полета относительно любого уровня больше барометрической высоты (высотомер занижает). При отклонении температуры воздуха от стандартной на 30 °С, высота изменится на 10 %.

На практике часто пользуются барометрической формулой Лапласа

$$z = 18400 \times (1 + \alpha t) \times \lg \frac{p_0}{p}, \qquad (2.6)$$

где z – высота относительно уровня моря;

t – средняя температура слоя атмосферы высотой z;

p_0 – давление воздуха на уровне моря;

p – давление воздуха на высоте z;

$\alpha = \frac{1}{273}$.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры зависимости летно-технических характеристик ВС от температуры воздуха.
2. Что называется температурой воздуха?
3. Какова точность измерения температуры воздуха у поверхности земли и на высотах?
4. С какой точностью дается температура воздуха в телеграммах METAR?
5. На какой высоте измеряется температура воздуха вблизи поверхности земли?
6. Охарактеризуйте виды термометров и принцип их действия.
7. Что такое суточный ход температуры воздуха и от чего он зависит?
8. Почему в тропосфере температура воздуха понижается с увеличением высоты?
9. Вследствие каких процессов осуществляется теплообмен между деятельной поверхностью и тропосферой?
10. Во сколько раз турбулентный поток тепла больше молекулярного потока тепла в атмосфере?
11. Что такое радиационная теплопроводность?
12. Что такое испарение воды, конденсация и сублимация водяного пара?
13. Почему при конденсации и сублимации водяного пара воздух нагревается, а при испарении воды – охлаждается?
14. Что называется адвекцией и как она влияет на суточный ход температуры воздуха?
15. Как изменяется температура воздуха в течение суток над сушей в умеренных широтах?
16. С чем связаны периодические и непериодические изменения температуры воздуха?
17. Почему при ясной погоде суточный ход температуры воздуха выражен ярче, чем при пасмурной?
18. Сформулируйте закон Воейкова.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

19. *Охарактеризуйте годовой ход температуры воздуха над сушей в умеренных широтах.

20. *Почему амплитуда годового хода температуры воздуха над сушей больше, чем над океанами?

21. *Почему облачность уменьшает амплитуду годового хода температуры воздуха?

22. Дайте определение вертикального градиента температуры воздуха.

23. Что называют инверсией и изотермией?

24. Дайте определение кривой стратификации.

25. Охарактеризуйте задерживающие слои в атмосфере. Какие инверсии, Вы знаете?

26. При каких условиях возникают радиационные и адвективные инверсии?

27. Что Вы знаете об инверсиях свободной атмосферы?

28. При каких условиях возникают фронтальные инверсии?

29. *Каким образом задерживающие слои в атмосфере влияют на полеты ВС?

30. *Почему диспетчеры УВД и пилоты должны знать закономерности изменения температуры воздуха в пространстве и во времени?

31. Дайте определение влажности воздуха и назовите ее характеристики.

32. Какие характеристики влажности воздуха используются при оценке метеорологических условий на аэродроме?

33. Зачем диспетчеру УВД и пилоту нужно знать информацию о влажности воздуха на аэродроме и по маршруту полета?

34. Дайте определение точки росы и дефицита точки росы.

35. Какие характеристики влажности воздуха наносят на приземные и высотные карты погоды?

36. Дайте определение относительной влажности воздуха, чему равен дефицит точки росы, если относительная влажность воздуха 100 %?

37. Какие методы используются при определении влажности воздуха на аэродроме?

38. Каким образом плотность воздуха зависит от его влажности?

39. От каких факторов зависит плотность воздуха на эшелоне полета?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

40. Дайте определение виртуальной температуры, для каких целей вводится понятие виртуальной температуры?

41. Напишите уравнения состояния сухого и влажного воздуха и укажите их различия.

42. По какой формуле рассчитывается виртуальная температура?

43. Какую величину называют виртуальным добавком, от каких факторов она зависит?

44. *На сколько процентов отличается плотность влажного воздуха от плотности сухого воздуха при температуре 30 ºС и давлении 1000 гПа? Ответ обоснуйте.

45. *Чему равен виртуальный добавок при относительной влажности 60 %, если при влажности 100 % он составляет 5 ºС?

46. Что называется атмосферным давлением?

47. Дайте определение давления QFE. Для чего оно используется?

48. Сколько гектопаскалей содержится в 750 мм рт. ст.?

49. Сколько миллибар содержится в 1 мм рт. ст.?

50. Дайте определение давления QNH. Для чего оно используется?

51. С какой точностью определяется давление QFF, и в каких пределах оно изменяется на земном шаре в мм рт. ст. и в гПа?

52. Что Вы знаете о приборах для измерения атмосферного давления?

53. *Почему диспетчеры УВД и пилоты должны знать закономерности изменения атмосферного давления в пространстве и во времени?

54. *Выведите основное уравнение статики атмосферы и проанализируйте его.

55. *Докажите, что давление воздуха равно весу вышележащего столба атмосферы единичного поперечного сечения.

56. Дайте определение барической ступени. Для каких целей она используется?

57. *Выведите формулу барической ступени и проанализируйте эту формулу.

58. Как изменится барическая ступень при повышении температуры воздуха на 30 °С и неизменном давлении?

59. Дайте определение изобарической поверхности.

60. Какие задачи решаются с помощью барометрических формул?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

61. Дайте определение однородной, изотермической и политропной атмосфер.

62. *Выведите барометрические формулы однородной и изотермической атмосфер и проанализируйте эти формулы.

63. Выведите барометрическую формулу политропной атмосферы и проанализируйте эту формулу.

64. По какому закону изменяется плотность воздуха по высоте в изотермической атмосфере?

65. По какому закону изменяется плотность воздуха по высоте в политропной атмосфере?

66. *Выведите барометрическую формулу Лапласа и проанализируйте ее.

67. *Поясните сущность барометрического метода определения высоты?

68. В каких атмосферных условиях высотомер завышает показания, в каких занижает?

69. *Как изменится высота эшелона при изменении атмосферного давления на уровне моря на 1 гПа при постоянной температуре воздуха? Ответ обоснуйте.

70. В какой атмосфере – изотермической или политропной – барическая ступень больше, если температура на уровне моря одинакова? Ответ обоснуйте.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Температура воздуха является мерой ...

а) средней кинетической энергии движения воздуха;

б) средней кинетической энергией движения молекул воздуха;

в) равновесия воздуха;

г) скорости движения воздуха.

2. Температура воздуха на аэродроме измеряется на высоте ...

а) 10 м;

б) 100 м;

в) круга;

г) 2 м.

3. Точность измерения температуры воздуха на аэродроме ...

а) меньше, чем на высотах;

б) такая же, как на высотах;

в) больше, чем на высотах;

г) 5 °С.

4. Температура воздуха, указанная в местных сводках фактической погоды на аэродроме, называется ...

а) эквивалентной;

б) кинетической;

в) потенциальной;

г) тепловой.

5. Переход водяного пара в кристаллическое состояние, минуя жидкое, называется ...

а) конденсацией;

б) испарением;

в) адвекцией;

г) сублимацией.

6. При конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере происходит ...

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

а) поглощение тепловой энергии;

б) выделение тепловой энергии;

в) испарение;

г) конвекция.

7. Над сушей в умеренных широтах минимум температуры воздуха в суточном ходе отмечается ...

а) перед заходом солнца;

б) перед восходом солнца;

в) в послеполуденные часы;

г) через 2-3 ч после восхода солнца.

8. Над сушей в умеренных широтах максимум температуры воздуха в суточном ходе отмечается ...

а) через 2-3 ч после восхода солнца;

б) в полдень по местному времени;

в) в 14-15 часов местного времени;

г) перед восходом солнца.

9. В котловинах амплитуда суточного хода температуры воздуха ...

а) больше, чем над холмами;

б) меньше, чем над ровной поверхностью земли;

в) меньше, чем над холмами;

г) такая же, как над холмами.

10. В умеренных широтах максимальная амплитуда суточного хода температуры воздуха наблюдается ...

а) зимой;

б) весной;

в) летом;

г) осенью.

11. Амплитуда годового хода температуры воздуха над сушей ...

а) больше, чем над океанами;

б) меньше, чем над океанами;

в) такая же, как над океанами;

г) равна амплитуде суточного хода температуры воздуха.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

12. Облачность зимой способствует ...

а) повышению температуры воздуха;

б) понижению температуры воздуха;

в) увеличению амплитуды годового хода температуры воздуха;

г) постоянству амплитуды годового хода температуры воздуха.

13. При понижении температуры воздуха с увеличением высоты ...

а) вертикальный градиент температуры $\gamma > 0$;

б) вертикальный градиент температуры $\gamma < 0$;

в) вертикальный градиент температуры $\gamma = 0$;

г) наблюдается инверсия.

14. Задерживающие слои в атмосфере препятствуют ...

а) формированию сдвигов ветра;

б) скоплению продуктов конденсации и сублимации водяного пара;

в) ухудшению видимости в атмосфере;

г) развитию восходящих движений воздуха.

15. Инверсия является...

а) изотермическим слоем;

б) задерживающим слоем;

в) однородным слоем;

г) радиационным слоем.

16. Радиационные инверсии зимой формируются ...

а) только ночью;

б) только днем;

в) в любое время суток;

г) только утром;

д) при облачной погоде и сильном ветре.

17. Облачность днем …

а) увеличивает нагревание поверхности земли;

б) уменьшает нагревание поверхности земли;

в) не влияет на тепловое состояние земли;

г) все ответы неправильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

18. Облачность ночью …

а) увеличивает охлаждение поверхности земли;

б) уменьшает охлаждение поверхности земли;

в) не влияет на тепловое состояние поверхности земли;

г) все ответы неправильные.

19. Перенос тепла путем горизонтального перемещения воздушных масс называется …

а) конвекцией;

б) радиацией;

в) адвекцией;

г) трансформацией.

20. Перенос тепла путем излучения электромагнитных волн называется …

а) молекулярной теплопроводностью;

б) турбулентной теплопроводностью;

в) радиационной теплопроводностью;

г) конвекцией.

21. Влажность воздуха – это содержание в воздухе …

а) жидкой воды;

б) кристаллов льда;

в) водяного пара;

г) все ответы правильные.

22. Температура, при которой воздух достигает состояния насыщения, называется …

а) упругостью насыщения;

б) насыщающей абсолютной влажностью;

в) насыщающей удельной влажностью;

г) точкой росы.

23. Отношение фактического содержания водяного пара к максимально возможному содержанию при данной температуре – это …

а) дефицит точки росы;

б) дефицит влажности;

в) удельная влажность;

г) относительная влажность.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

24. Влажность воздуха на аэродроме измеряется на высоте …

а) 2 м;

б) 5 м;

в) 10 м;

г) 1 м.

25. Плотность влажного воздуха …

а) измеряется;

б) равна плотности сухого воздуха и рассчитывается по уравнению состояния сухого воздуха;

в) меньше плотности сухого воздуха;

г) больше плотности сухого воздуха.

26. Температура воздуха, измеряемая на аэродромах, …

а) называется виртуальной;

б) меньше виртуальной температуры при данной влажности;

в) больше виртуальной температуры при данной влажности;

г) все ответы неправильные.

27. Давление воздуха на станции, приведенное к уровню моря по фактическим условиям, обозначается…

а) QFE

б) QNH

в) QFF

г) QNE.

28. Один гектопаскаль равен…

а) 10 мб

б) 0,01 Па

в) 0,75 мм рт. ст.

г) 1,33 мм рт. ст.

29. Может ли плотность воздуха увеличиваться с увеличением высоты?

а) да;

б) нет.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

30. При повышении температуры воздуха на 3 °С и постоянном давлении барическая ступень …

а) не изменяется;

б) увеличивается на 1 %;

в) уменьшается на 1 %;

г) увеличивается на 0,4 %.

31. В теплом воздухе барическая ступень …

а) меньше, чем в холодном;

б) больше, чем в холодном;

в) не зависит от плотности воздуха;

г) не зависит от высоты.

32. Высота изотермической атмосферы …

а) бесконечна;

б) 8000 м;

в) зависит от температуры воздуха;

г) зависит от плотности воздуха.

33. Вертикальный градиент температуры в политропной атмосфере …

а) отрицателен;

б) равен нулю;

в) положителен;

г) больше, чем в однородной атмосфере.

34. Высотомер завышает показания, если…

а) реальная атмосфера теплее СА;

б) реальная атмосфера холоднее СА.

35. Высотомер занижает показания…

а) зимой;

в) летом.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 3

Анализ полей температуры, влажности и давления воздуха по картам погоды

3.1. Приземная карта погоды

Пилоты и диспетчеры УВД должны знать информацию о температуре, влажности, давлении воздуха и об изменении этих характеристик в пространстве и во времени. Чтобы получить эту информацию, нужно уметь анализировать поля температуры, влажности и давления воздуха по приземной карте погоды. Такой анализ требует знания правил расшифровки метеорологических элементов, нанесенных на карту. Пример представления метеоэлементов вокруг кружка метеорологической станции на приземной карте погоды (рис. 3.1) расшифровывается так: температура воздуха – 16,2 °С; точка росы – 14,8 °С; давление QFF – 1010,8 гПа; величина барической тенденции – -2,4 гПа.

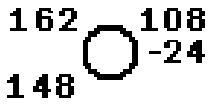


Рис. 3.1. Метеоэлементы вокруг кружка станции на приземной карте погоды

Температура воздуха и точка росы указываются соответственно слева вверху и слева внизу от кружка станции. При расшифровке этих величин нужно числа на карте разделить на 10. Справа вверху от кружка станции наносят десятки, единицы и десятые доли давления QFF в гПа. Если первая цифра 4 или менее, то при расшифровке впереди цифры ставят 10; если первая цифра 5 или более, то – 9, последнюю цифру отделяют запятой. Под давлением QFF на уровне кружка станции наносят величину барической тенденции.

Барическая тенденция показывает, как изменилось атмосферное давление на станции за последние 3 ч. Величина барической тенденции наносится на карту в гПа с точностью до десятых долей двумя или тремя цифрами, при ее расшифровке необходимо отделить последнюю цифру запятой. Знак минус перед величиной барической тенденции говорит о том, что давление воздуха за последние 3 ч понизилось. На картах погоды через 1 гПа проводят *изаллобары* – линии равных вели-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

чин барической тенденции, а также *изобары* – линии равного давления, которые являются линиями пересечения изобарических поверхностей с уровнем моря. Изобары проводят через 2,5 или 5 гПа.

Барическое поле – это распределение атмосферного давления в пространстве. Барические системы являются формами барического поля и представляют собой крупномасштабные области в барическом поле атмосферы с типичным распределением атмосферного давления (рис. 3.2). Выделяют пять барических систем, которые являются объектами синоптического анализа – синоптическими объектами (см. разд. 8).

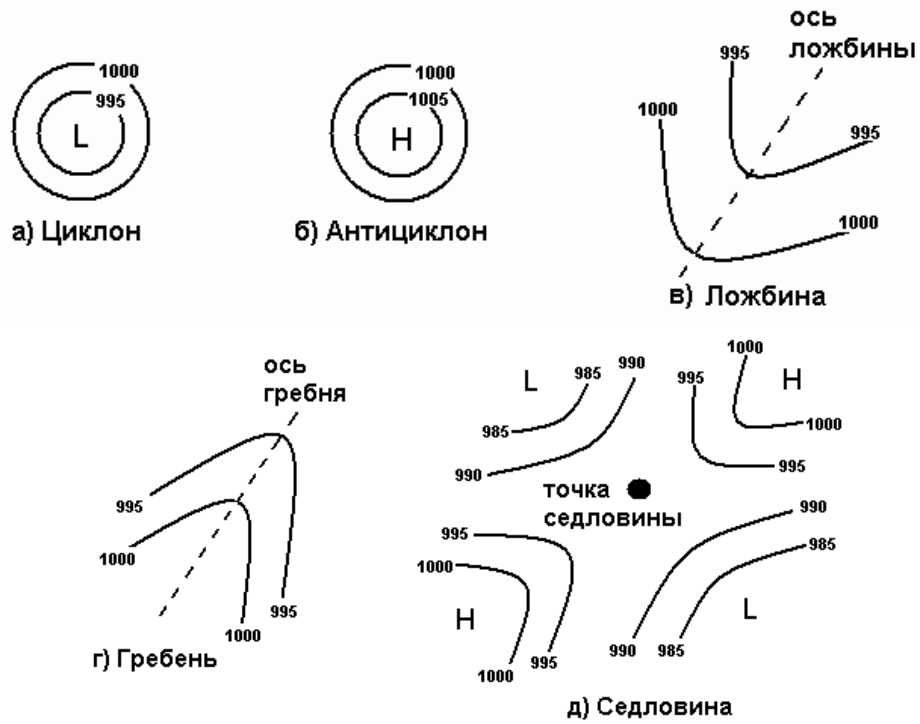


Рис. 3.2. Барические системы

Циклон – область низкого давления, ограниченная замкнутыми изобарами. Наименьшее атмосферное давление в этой области соответствует *центру циклона*. **Антициклон** – область высокого давления, ограниченная замкнутыми изобарами. Наибольшее атмосферное давление в этой области соответствует *центру антициклона*. Изобарические поверхности над циклонами являются вогнутыми, а над антициклонами – выпуклыми.

Ложбина – вытянутая область пониженного давления с незамкнутыми изобарами. Линия наименьшего давления вдоль ложбины называется *осью ложби-*

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ны. **Гребень** – вытянутая область повышенного давления с незамкнутыми изобарами. Линия наибольшего давления вдоль гребня называется *осью гребня*.

Седловина – барическое поле с незамкнутыми изобарами между двумя циклонами и антициклонами, расположенными крест-накрест.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

3.2. Карты абсолютной и относительной барической топографии

3.2.1. Барометрическая формула геопотенциала

Геопотенциал в некоторой точке атмосферы равен работе, которую нужно совершить, чтобы поднять единичную массу в поле силы тяжести от уровня моря в данную точку. Геопотенциал на уровне моря принят равным нулю. Потенциальная энергия единицы массы относительно уровня моря определяется по формуле

$$\Phi = \int_0^z g dz , \qquad (3.1)$$

где Φ – геопотенциал;

z – высота над уровнем моря;

g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Если g не зависит от высоты, то $\Phi = gz$.

Геопотенциальный метр (гп. м) является единицей измерения геопотенциала и равен работе, которую нужно совершить, чтобы поднять единичную массу на высоту 1 м при ускорении свободного падения 9,8 м/с^2. Высота в геопотенциальных метрах называется геопотенциальной высотой. Она определяется по формуле

$$H = \frac{g \times z}{9{,}8}, \qquad (3.2)$$

где H – геопотенциальная высота.

Геопотенциальная высота равна геометрической высоте при g = 9,8. Для других значений g разность между высотой в метрах и геопотенциальной высотой не превышает 0,3 %. На полюсе геопотенциальная высота больше геометрической высоты, а на экваторе – меньше. Геопотенциальная высота изобари-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ческой поверхности, где давление равно P, относительно уровня моря с давлением P_0 рассчитывается по барометрической формуле геопотенциала

$$H = 67{,}44 T_{ср} \lg \frac{P_0}{P}, \qquad (3.3)$$

где $T_{ср}$ – средняя температура слоя высотой Н;

H – абсолютная геопотенцальная высота, гп. м.;

P – давление воздуха на высоте Н.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

3.2.2. Метод барической топографии

На высотных картах погоды, которые используются при метеорологическом обеспечении полетов, указываются геопотенциальные высоты стандартных изобарических поверхностей относительно уровня моря в геопотенциальных декаметрах (гп. дкм). Чтобы уметь читать высотные карты, пилоты и диспетчеры УВД должны знать: барометрические высоты стандартных изобарических поверхностей; какой слой атмосферы характеризует каждая такая поверхность; стандартную температуру воздуха, соответствующую этим поверхностям (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Стандартные изобарические поверхности

Давление, гПа	850	700	500	400	300	250	200
Барометрическая высота, км	1,5	3,0	5,6	7,2	9,0	10,0	12,0
Слой атмосферы, км	1-2	2-4	4-6	6-8	8-10	9-11	11-13
Температура СА, °С	5	-5	-21	-32	-45	-50	-56,5

Карты абсолютной барической топографии – это географические карты, на которые наносятся справа вверху от кружка станции геопотенциальные высоты стандартных изобарических поверхностей относительно уровня моря в гп. дкм. На картах проводятся **изогипсы** – линии равных геопотенциальных высот: на картах AT_{850}, AT_{700}, AT_{500} – через 4 гп. дкм, а на картах AT_{400}, AT_{300}, AT_{200} – через 8 гп. дкм. Областям с высоким положением изобарической поверхности соответствует высокое давление воздуха, а областям с низким положением этой поверхности – низкое атмосферное давление.

Абсолютная геопотенциальная высота изобарической поверхности зависит от средней температуры нижележащего слоя атмосферы и от атмосферного

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

давления на уровне моря. Повышение атмосферного давления на уровне моря на 1 гПа при постоянной температуре воздуха приводит к увеличению высоты изобарической поверхности примерно на 8 гп. м.

При анализе метеорологических условий полета на аэродроме и по маршруту используется карта относительной барической топографии $ОТ_{1000}^{500}$ – это географическая карта, на которую наносят геопотенциальные высоты изобарической поверхности 500 гПа относительно поверхности 1000 гПа. По этой карте выявляют очаги тепла и холода в атмосфере, поскольку проведение изогипс относительной топографии равнозначно проведению изотерм средней температуры слоя между изобарическими поверхностями 1000 и 500 гПа.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

3.2.3. Расшифровка метеоэлементов на карте абсолютной барической топографии

Представленный на рис. 3.3 пример метеоэлементов на карте абсолютной барической топографии $АТ_{500}$ расшифровывается следующим образом: 512 гп. дкм – абсолютная геопотенциальная высота изобарической поверхности 500 гПа; -22 °С – температура воздуха на данной высоте; 2,0 °С – дефицит точки росы на данной высоте.

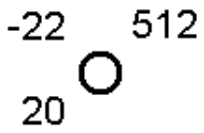


Рис. 3.3. Метеоэлементы на карте $АТ_{500}$

При расшифровке дефицита точки росы следует использовать правило: если число меньше или равно 50, то его нужно разделить на 10, чтобы получить значение дефицита точки росы с точностью до 0,1 С. Если число больше или равно 56, то нужно отнять от него 50, чтобы получить дефицит точки росы в целых градусах Цельсия. Температура воздуха дается в целых градусах Цельсия.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте правило расшифровки давления воздуха на приземной карте погоды.

2. Сформулируйте правило чтения температуры воздуха и точки росы на приземной карте погоды.

3. Как определяется влажность воздуха по приземной карте погоды?

4. Дайте определение величины барической тенденции.

5. Сформулируйте правило чтения величины барической тенденции на приземной карте погоды.

6. Дайте определения изобары и изаллобары.

7. Что называют барическим полем?

8. Дайте определение барической системы.

9. Дайте определение циклона и антициклона.

10. Дайте определение ложбины и гребня.

11. Что называют барической седловиной?

12. Дайте определение изобарической поверхности.

13. Дайте определение геопотенциала.

14. Дайте определение геопотенциального метра.

15. Какая высота называется геопотенциальной?

16. *Поясните, почему геопотенциальная высота на полюсе больше, а на экваторе меньше геометрической высоты?

17. *Докажите, что разность между геометрической и геопотенциальной высотами не превышает 0,3 %?

18. *Выведите формулу геопотенциала, измеренного в геопотенциальных метрах.

19. *Можно ли рассчитать геопотенциальную высоту изобарической поверхности, используя барометрическую формулу Лапласа? Ответ обоснуйте.

20. От каких факторов и каким образом зависит абсолютная высота изобарической поверхности?

21. В чем заключается сущность метода барической топографии?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

22. Назовите барометрические высоты стандартных изобарических поверхностей 850; 700; 500; 400; 300; 200 гПа.

23. Дайте определение карты абсолютной барической топографии.

24. Что такое изогипса?

25. *Докажите, что повышение атмосферного давления на уровне моря на 1 гПа при неизменной температуре воздуха приводит к увеличению абсолютной высоты любой изобарической поверхности примерно на 8 гп. м.

26. *Докажите, что на карте абсолютной барической топографии областям с высоким положением изобарической поверхности соответствует высокое давление воздуха, а с низким положением – низкое атмосферное давление.

27. Назовите стандартную температуру воздуха, соответствующую изобарическим поверхностям 850; 700; 500; 400; 300; 200 гПа?

28. Дайте определение карты относительной барической топографии $ОТ_{1000}^{500}$.

29. *Докажите, что проведение изогипс на карте $ОТ_{1000}^{500}$ равнозначно проведению изотерм.

30. Какая характеристика влажности воздуха дается на картах абсолютной барической топографии?

31. Сформулируйте правило чтения дефицита точки росы на высотных картах погоды.

32. Сформулируйте правило чтения температуры воздуха на высотных картах погоды.

33. *Зачем пилотам и диспетчерам необходима информация о температуре, влажности, давлении воздуха и об изменении этих характеристик в пространстве и во времени?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Характеристика изменения атмосферного давления во времени – это…

а) барическая система;

б) барическое поле;

в) барическая тенденция;

г) горизонтальный барический градиент.

2. Линии равных величин барической тенденции на приземной карте погоды – это…

а) изобары;

б) характеристики барической тенденции;

в) изаллобары;

г) барические системы.

3. В стандартной атмосфере геопотенциальная высота …

а) больше геометрической высоты;

б) меньше геометрической высоты;

в) совпадает с геометрической высотой;

г) не определяется.

4. Барометрические высоты поверхностей 700, 500 и 400 гПа…

а) 1,5; 3; 5,6 км;

б) 3; 5,6; 7,2 км;

в) 5,6; 7,2; 9 км;

г) 7,2; 9; 10 км.

5. На приземной карте погоды указано давление воздуха в цифрах кода 998. Это означает…

а) давление QFF – 998,0 гПа;

б) давление QNH – 999,8 гПа;

в) давление QNH – 998,0 гПа;

г) давление QFF – 999,8 гПа.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. На приземной карте погоды указаны температура воздуха и точка росы $\overset{22}{\underset{18}{\bigcirc}}$. Это означает, что …

а) температура воздуха – 22 °С, точка росы – 1,8 °С;

б) дефицит точки росы – 0,4 °С;

в) дефицит точки росы – 4 °С;

г) воздух далек от состояния насыщения.

7. Геопотенциальная высота равна геометрической высоте, если ускорение свободного падения…

а) не зависит от высоты;

б) равно 9,8 м/с²;

в) не зависит от широты;

г) равно ускорению свободного падения на полюсе.

8. Географическая карта, на которую нанесены геопотенциальные высоты изобарической поверхности над уровнем моря, – это…

а) приземная карта погоды;

б) карта абсолютной барической топографии;

в) карта относительной барической топографии;

г) карта тропопаузы.

9. Высота полета ВС на эшелоне совпадает с …

а) геопотенциальной поверхностью;

б) поверхностью уровня;

в) изобарической поверхностью;

г) изотермической поверхностью.

10. Если на карту абсолютной барической топографии нанесены данные $\overset{-12}{\underset{30}{\text{O}}}^{321}$, то…

а) это карта АТ-700 гПа;

б) температура воздуха на высоте 321 гп. дкм – -1,2 °С;

в) это карта АТ-400 гПа;

г) точка росы на высоте составляет 3 °С.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 4

ВЕТЕР

4.1. Силы, действующие в атмосфере на воздушную частицу

В атмосфере на *воздушную частицу* – единичную массу воздуха – действуют массовые (внешние) и поверхностные (внутренние) силы. *Массовые силы* действуют на частицу воздуха независимо от окружающих ее воздушных частиц. К этим силам относится *сила тяжести*, а также *инерционные силы* – сила Кориолиса и центробежная сила. *Поверхностные силы* действуют на частицу воздуха со стороны окружающих ее воздушных частиц, которые соприкасаются с поверхностью данной частицы. К этим силам относятся: *сила горизонтального барического градиента* и *сила трения*.

Сила тяжести, действующая на единичную массу воздуха, называется ускорением свободного падения. Она не участвует в формировании ветра в атмосфере и уравновешивается силой вертикального барического градиента.

Ветер – горизонтальное движение воздуха относительно поверхности земли – возникает под действием силы горизонтального барического градиента (G), которая определяется по формуле

$$G = -\frac{1}{\rho}\frac{\Delta P}{\Delta S}, \qquad (4.1)$$

где ρ – плотность воздуха;

$-\frac{\Delta P}{\Delta S}$ – горизонтальный барический градиент, характеризующий неравномерность распределения атмосферного давления по горизонтали и равный изменению давления воздуха на единицу расстояния;

P – давление воздуха;

S – расстояние по горизонтали.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Сила горизонтального барического градиента численно равна ускорению, которое получает воздушная частица под действием горизонтального барического градиента. Эта сила направлена по нормали к изобаре в сторону понижения давления. Под действием этой силы воздушная частица стремится переместиться из области высокого давления в область низкого давления. По расстоянию между изобарами на приземной карте погоды, а также по расстоянию между изогипсами на картах абсолютной барической топографии можно судить о величине горизонтального барического градиента: чем гуще проведены изобары и изогипсы, тем больше этот градиент.

Сила Кориолиса (*A*) – отклоняющая сила вращения земли – всегда действует в направлении, перпендикулярном направлению движения воздушной частицы. Эта сила, направленная по отношению к вектору ветра в северном полушарии вправо, а в южном – влево, определяется по формуле

$$A = 2\omega \sin \varphi U , \qquad (4.2)$$

где ω – угловая скорость вращения Земли;

φ – широта;

U – скорость ветра.

На экваторе сила Кориолиса равна нулю, а на полюсе принимает максимальное значение, равное $2\omega U$.

Сила трения всегда направлена в сторону, противоположную движению воздушной частицы, и определяется по формуле

$$F_{тр} = -kU , \qquad (4.3)$$

где U – скорость ветра,

k – коэффициент трения, характеризующий шероховатость (неровности) подстилающей поверхности.

Сила трения значительна в пограничном слое атмосферы. Она уменьшается с увеличением высоты и близка к нулю на уровне трения, ниже которого находится пограничный слой.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Центробежная сила (*C*) возникает при движении воздушной частицы по криволинейной траектории, направлена по радиусу кривизны траектории от центра вращения и определяется по формуле

$$C = \frac{U^2}{r}, \qquad (4.4)$$

где U – скорость ветра,

r – радиус кривизны траектории.

Если этот радиус 1000 км или более, то величина центробежной силы значительно меньше силы горизонтального барического градиента и силы Кориолиса, поэтому ею пренебрегают.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.2. Ветер в свободной атмосфере

В свободной атмосфере сила трения отсутствует и формируется ***градиентный ветер*** – установившееся движение воздуха при отсутствии силы трения. Если центробежная сила равна нулю (изобары и изогипсы прямолинейные), то градиентный ветер называется геострофическим.

Геострофический ветер возникает под действием силы горизонтального барического градиента и силы Кориолиса. При установившемся движении эти силы уравновешиваются. Скорость геострофического ветра U определяется по формуле

$$U = \frac{1}{2\omega \sin\varphi\rho} \frac{\Delta P}{\Delta S}. \qquad (4.5)$$

Ветер в свободной атмосфере направлен таким образом, что если встать лицом по потоку, то низкое давление воздуха будет слева, а высокое – справа от наблюдателя. Эта закономерность носит название *барического закона ветра для свободной атмосферы*.

Скорость геострофического ветра (U) в км/ч рассчитывается по картам абсолютной барической топографии с помощью формулы

$$U_{\partial} = \frac{100}{\sin\varphi \Delta n}, \qquad (4.6)$$

где Δn – расстояние в сотнях километров между изогипсами, проведенными через 4 гп. дкм. Чем гуще проведены изогипсы, тем сильнее ветер.

Градиентный ветер при наличии центробежной силы называется *геоциклострофическим*. Этот ветер наблюдается в циклоне и антициклоне и формируется под действием трех сил: горизонтального барического градиента, Кориолиса и центробежной силы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

В циклоне сила горизонтального барического градиента уравновешивается равнодействующей двух сил: силы Кориолиса и центробежной силы. Поэтому воздушная частица в циклоне движется против часовой стрелки в северном полушарии (рис. 4.1,*а*) и по часовой стрелке в южном полушарии.

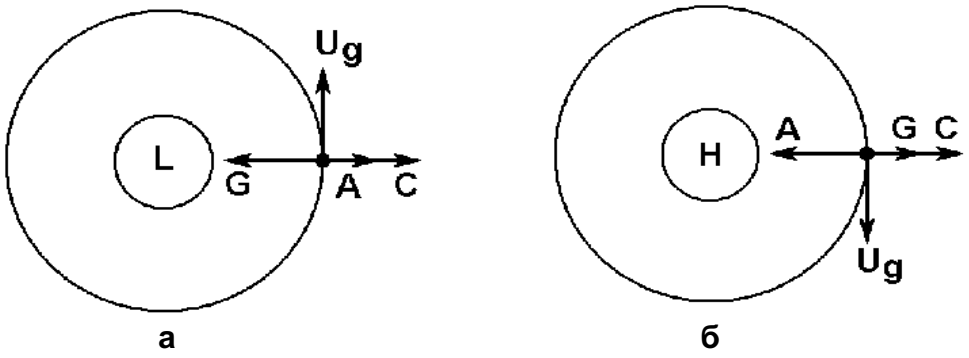


Рис. 4.1. Градиентный ветер в циклоне (а) и в антициклоне (б) северного полушария

В антициклоне сила Кориолиса уравновешивается суммой двух сил: горизонтального барического градиента и центробежной. Поэтому воздушная частица в антициклоне движется по часовой стрелке в северном полушарии (рис. 4.1,*б*) и против часовой стрелки – в южном.

Если в циклоне горизонтальный барический градиент такой же, как в антициклоне, то скорость градиентного ветра в циклоне меньше, чем в антициклоне. Однако в антициклоне горизонтальный барический градиент, как правило, не превышает 1 гПа на 100 км, а в циклонах он может достигать более 8 гПа на 100 км. Поэтому скорость ветра в циклонах обычно больше, чем в антициклонах.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.3. Ветер в пограничном слое атмосферы

При установившемся горизонтальном движении воздуха в пограничном слое атмосферы, если отсутствует центробежная сила, то сила горизонтального барического градиента уравновешивается равнодействующей сил Кориолиса и трения.

Если в северном полушарии встать лицом по потоку, то область низкого давления будет располагаться слева и впереди от наблюдателя, а область высокого давления – справа и позади от него. Это *закон Бейс-Балло* или барический закон ветра для пограничного слоя атмосферы.

При наличии силы трения в северном полушарии ветер отклоняется от направления изобары влево, т.е. против часовой стрелки. Изобара на приземной карте погоды направлена так, что низкое давление находится слева от нее, а высокое – справа. Угол отклонения ветра от изобары над сушей составляет примерно 30°, а над морем 20°, т.к. над сушей коэффициент трения больше, чем над морем.

В циклоне (рис. 4.2,*а*) сила горизонтального барического градиента уравновешивается силами Кориолиса, трения и центробежной:

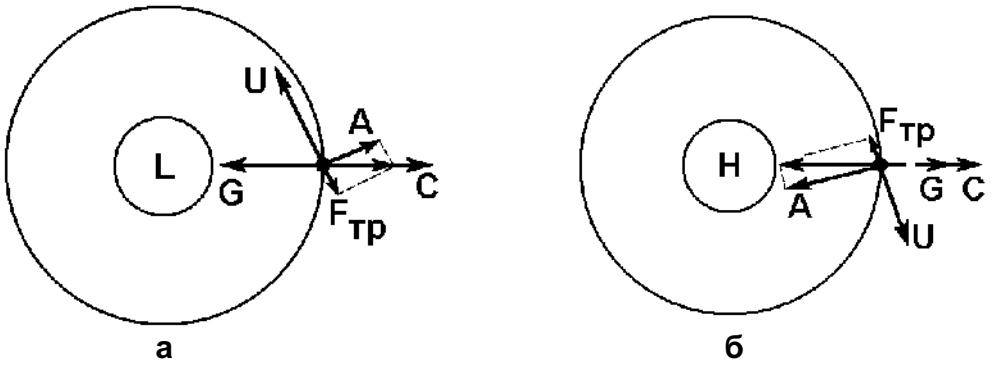
$$G = A + F_{тр} + C\,. \qquad (4.7)$$

В антициклоне (рис. 4.2,*б*) равнодействующая сил горизонтального барического градиента и центробежной уравновешивается равнодействующей сил Кориолиса и трения:

$$G + C = A + F_{тр}\,. \qquad (4.8)$$

Рис. 4.2. Ветер в слое трения в циклоне (а) и антициклоне (б) северного полушария

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г



При наличии силы трения изобары не совпадают с линиями тока, как это наблюдается в свободной атмосфере. *Линия тока* – это линия, в каждой точке которой ветер направлен по касательной к ней. Если провести в циклоне и антициклоне линии тока, то окажется, что центр циклона является точкой сходимости воздушных потоков, а центр антициклона – точкой расходимости воздушных потоков.

В циклоне вследствие сходимости воздушных потоков наблюдаются восходящие движения воздуха и образование облаков. В антициклоне вследствие расходимости воздушных потоков имеет место нисходящий поток, который приводит к размыванию (исчезновению) облаков.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.4. Изменение ветра с высотой в слое трения

В пограничном слое атмосферы (слое трения) изменение ветра с высотой связано с уменьшением силы трения при удалении от подстилающей поверхности. Наибольшее отклонение ветра влево от изобары имеет место в приземном слое (до высоты примерно 50 м). С увеличением высоты угол отклонения ветра от изобары уменьшается и приближается к нулю на верхней границе пограничного слоя, где ветер становится близким к градиентному ветру.

В слое трения с увеличением высоты ветер меняет направление и скорость: по направлению он приближается к направлению изобары и при этом усиливается; наблюдается *правое вращение ветра* с высотой (по часовой стрелке). В более редких случаях в этом слое наблюдается *левое вращение ветра* с высотой или отмечается постоянство направления ветра по высоте. Это происходит, когда барическое поле с увеличением высоты быстро меняется.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.5. Суточный ход ветра в слое трения

Над сушей максимум скорости приземного ветра наблюдается в послеполуденные часы, а минимум – ночью или утром. Начиная с высоты примерно 500 м, суточный ход ветра обратный: максимум скорости наблюдается ночью, а минимум – днем. Причина суточного хода скорости ветра заключается в суточном ходе турбулентного обмена. Днем турбулентный обмен усиливается, по сравнению с ночью. В результате скорость ветра в нижней части слоя трения увеличивается, а в верхней части этого слоя – уменьшается. Ночью, когда турбулентный обмен ослабевает, скорость ветра в нижней части слоя трения меньше, чем днем, а в верхней части – больше, чем днем.

Суточный ход обнаруживается и в направлении ветра. Возрастание скорости приземного ветра днем сопровождается правым вращением ветра. Убывание скорости приземного ветра ночью сопровождается левым вращением ветра. Причина суточного изменения направления приземного ветра – суточный ход турбулентного обмена. Днем направление приземного ветра приближается к направлению ветра в верхней части слоя трения, т.е. к направлению изобар, отсюда и правое вращение ветра. Ночью происходит удаление приземного ветра от изобар, т.е. его левое вращение.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.6. Термический ветер

Изменение температуры воздуха по горизонтали в некотором слое атмосферы толщиной z приводит к возникновению на верхней границе этого слоя силы горизонтального барического градиента и градиентного ветра. Это объясняется тем, что атмосферное давление в теплом воздухе падает с высотой медленнее, чем в холодном воздухе.

Ветер, обусловленный наличием горизонтального градиента температуры в некотором слое атмосферы, называется **термическим ветром**. Он направлен вдоль изотерм средней температуры слоя z таким образом, что холодный воздух находится слева, а теплый – справа.

Если градиентный ветер на нижнем уровне слоя атмосферы высотой z отличается от нуля и равен $u_н$, то градиентный ветер на верхнем уровне u определяется по формуле

$$u = u_н + u_t, \tag{4.9}$$

где u_t – термический ветер.

Скорость термического ветра вычисляется по формуле

$$U_t = \frac{gz}{2\omega \sin\varphi T_{ср}} \frac{\Delta T_{ср}}{\Delta n}, \tag{4.10}$$

где $T_{ср}$ – средняя температура воздуха в слое высотой z;

n – расстояние по горизонтали;

g – ускорение силы тяжести;

ω – угловая скорость вращения Земли;

φ – широта;

$\frac{\Delta T_{ср}}{\Delta n}$ – горизонтальный градиент средней температуры слоя z.

Чем больше горизонтальный градиент средней температуры слоя z и толщина этого слоя, тем сильнее термический ветер.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Сильные ветры в свободной атмосфере со скоростью 30 м/с или более – струйные течения – всегда наблюдаются в зоне больших горизонтальных градиентов температуры. **Струйное течение** – это сильный узкий поток с почти горизонтальной осью в верхней тропосфере и нижней стратосфере, характеризующийся большими вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра и одним или более максимумами скорости.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.7. Изменение ветра с высотой в свободной атмосфере

В различных частях циклонов и антициклонов в свободной атмосфере ветер по высоте изменяется по-разному. Если горизонтальный градиент температуры в некотором слое атмосферы в северном полушарии направлен с юга на север, то термический ветер направлен с запада на восток вдоль изотерм средней температуры слоя.

В передней (восточной) части циклона градиентный ветер на нижнем уровне слоя атмосферы направлен с юга на север, наблюдается адвекция тепла. С увеличением высоты ветер усиливается, и имеет место правое вращение ветра (рис. 4.3).

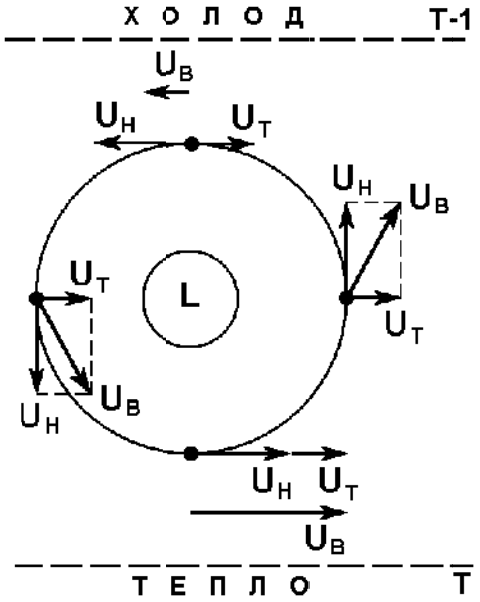


Рис. 4.3. Изменение градиентного ветра с высотой в циклоне:
$U_т$ – термический ветер; $U_Н$ – градиентный ветер на нижнем уровне; $U_В$ – градиентный номер на верхнем уровне

В тыловой (западной) части циклона ветер на нижнем уровне слоя направлен с севера на юг, наблюдается адвекция холода. Ветер на верхнем уровне слоя атмосферы усиливается и поворачивает влево относительно направления ветра на нижнем уровне – наблюдается левое вращение ветра.

В теплом секторе (южной части) циклона термический ветер совпадает по направлению с градиентным ветром на нижнем уровне слоя, поэтому ветер усиливается с высотой, не меняя направления.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

В северной части циклона термический ветер направлен в противоположную сторону относительно направления градиентного ветра на нижнем уровне слоя. Поэтому с увеличением высоты ветер сначала ослабевает, не изменяя направления, а затем, начиная с некоторого уровня, меняет направление на противоположное, и усиливается. Этот уровень называется уровнем обращения ветра.

Изменение ветра с высотой в свободной атмосфере связано с перестройкой барического поля атмосферы, обусловленной изменением температуры воздуха по горизонтали. С увеличением высоты ветер усиливается и приближается по направлению к направлению изотерм средней температуры нижележащего слоя. Это приводит к тому, что на высотах 3-6 км в атмосфере формируется устойчивый однородный поток воздуха – *ведущий поток*. В направлении и со скоростью этого потока перемещаются барические системы, воздушные массы, атмосферные фронты, кучево-дождевые облака и грозы. Направление ведущего потока примерно совпадает с направлением изогипс на карте АТ-700 гПа.

В умеренных широтах северного полушария ветер с увеличением высоты усиливается и становится все более близким к западному направлению, достигая максимальной скорости под тропопаузой.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.8. Информация о ветре, используемая при оценке метеорологических условий на аэродроме

Ветер – это вектор, который характеризуется скоростью и направлением. При метеорологическом обеспечении полетов используется метеорологический ветер, направление которого выражается в десятках градусов и определяется азимутом той точки горизонта, откуда ветер дует. Метеорологический ветер отличается по направлению от навигационного ветра на 180°.

Скорость ветра у поверхности земли в РФ измеряется с помощью анеморумбометров в м/с (MPS), а в других странах может измеряться в км/ч (KMH) или в узлах (KT).

На приземных картах погоды, в телеграммах METAR, SPECI дается фактический истинный ветер, направление которого отсчитывается от географического (истинного) меридиана. Период осреднения этого ветра – 10 мин. В прогнозах погоды по аэродрому, составляемых кодом TAF, указывается прогностический истинный ветер.

В местных сводках погоды по аэродрому, в передачах ATIS, для взлета и посадки ВС дается магнитный ветер, осредненный за 2 мин. Направление магнитного ветра отсчитывается от северного направления магнитного меридиана. Магнитный ветер отличается от истинного ветра, если магнитное склонение – 5° или более. При определении магнитного ветра, если магнитное склонение положительное (восточное), то оно отнимается от направления истинного ветра, а при отрицательном (западном) магнитном склонении – прибавляется.

С помощью анеморумбометров можно определить мгновенный ветер, период осреднения которого 2-3 с. Если максимальная мгновенная скорость ветра превышает среднюю скорость за период осреднения на 5 м/с или более, то в местных сводках погоды по аэродрому и в телеграммах METAR дается максимальный ветер – порыв.

Порывистость ветра указывает на наличие турбулентности в атмосфере: движение воздуха в атмосфере носит турбулентный (вихревой) характер, следствием чего является изменение (колебание) направления и скорости ветра око-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ло некоторого среднего значения. Чем больше величина порыва, тем более выражена атмосферная турбулентность.

Приземный ветер на синоптических станциях определяется на высоте 8 м от поверхности земли, а на аэродроме – на высотах 6-10 м от ВПП. Точность измерения приземного ветра на аэродромах по скорости – до 1 м/с, по направлению – до 10°.

В передачах ATIS для прилетающих и вылетающих ВС дается ветер на высотах 100 м и на круге для того, чтобы можно было оценить изменение ветра по вертикали.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.9. Информация о ветре, используемая при оценке метеорологических условий в свободной атмосфере

Ветер на высотах измеряется с помощью радиозондирования атмосферы на аэрологических станциях. Точность измерения по скорости – до 10 м/с, по направлению – до 10°. Сеть аэрологических станций на земном шаре насчитывает гораздо меньше станций, чем сеть синоптических станций.

Радиус действия реального ветра – это расстояние от точки его измерения, в пределах которого изменчивость ветра не превышает заранее заданной величины. Радиус действия ветра, измеренного с помощью радиозондов, считается равным 150 км.

Срок годности реального ветра – промежуток времени от момента измерения ветра, в пределах которого изменчивость ветра не превышает заранее заданной величины, – составляет примерно 6 ч.

Ветер в атмосфере изменяется в пространстве и во времени. Чем больше скорость ветра, тем меньше изменчивость его направления и больше изменчивость скорости. Чем меньше скорость ветра, тем больше изменчивость его направления и меньше изменчивость скорости.

Ветер на приземные и высотные карты погоды наносится с помощью стрелок и оперения. Стрелка указывает направление истинного ветра, а оперение – его скорость. Малое перо означает скорость ветра 2,5 м/с или 10 км/ч. Большое перо – скорость ветра 5 м/с или 18 км/ч. Флажок или вымпел – скорость ветра 25 м/с или 93 км/ч.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

4.10. Местные ветры

Ветры в определенных районах, возникающие под влиянием местных физико-географических особенностей, называются **местными ветрами**.

Бризы – ветры с суточной периодичностью по берегам морей и крупных водоемов. Дневной (морской) бриз дует с холодного моря на нагретое побережье. Он формируется утром, когда суша становится теплее водной поверхности. Ночной (береговой) бриз развивается вечером и направлен с охлажденного побережья в сторону теплого моря.

В умеренных широтах бризы наблюдаются в теплый период года при ясной или малооблачной погоде в малоградиентном барическом поле и охватывают слой атмосферы по вертикали до 1-2 км. Выше этого слоя наблюдается перенос воздуха в обратном направлении – **антибриз**, который охватывает слой атмосферы по вертикали до 2 км. Совокупность бризов и антибризов называется ***бризовой циркуляцией***.

В умеренных широтах дневной бриз имеет скорость 2-7 м/с и проникает на расстояние до 20 км от береговой линии. Ночной бриз имеет скорость 1-3 м/с и охватывает по вертикали более тонкий слой атмосферы, чем дневной бриз. С бризовой циркуляцией связаны опасные для авиации сдвиги ветра (см. разд. 9.6).

Горно-долинные ветры (ветры склонов) возникают в горах с суточной периодичностью вследствие различий в нагревании и охлаждении воздуха над склонами гор и над долинами. Днем долинный ветер поднимается из долины по нагретому склону горы (*анабатический ветер*), ночью горный ветер опускается по охлажденному склону горы в сторону долины (*катабатический ветер*).

Фён – жаркий, сухой, порывистый нисходящий (катабатический) ветер, дующий с подветренной части горы в сторону долины. Температура воздуха при фёне значительно и быстро повышается, а относительная влажность воздуха падает до 10-20 %. Фён может продолжаться несколько суток. Высокая температура воздуха при фёне обусловлена адиабатическим нагреванием воздуха при нисходящем движении – на 1 °С на каждые 100 м спуска.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Бора – сильный холодный и порывистый ветер, дующий с низких горных хребтов в сторону теплого моря. В Новороссийске скорость ветра при боре, как правило, больше 20 м/с, температура воздуха снижается на 25 °С и более.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Дайте определение поверхностных и массовых сил, действующих в атмосфере.
2. Что такое ветер и почему он возникает?
3. Дайте определение силы вертикального барического градиента.
4. Дайте определение силы горизонтального барического градиента.
5. От каких факторов зависит сила Кориолиса?
6. Чему равна сила трения и как она направлена?
7. Почему возникает и как направлена центробежная сила?
8. Дайте определение градиентного ветра.
9. Какой ветер называется геострофическим?
10. *Выведите формулу скорости геострофического ветра.
11. Сформулируйте барический закон ветра для свободной атмосферы.
12. Под действием каких сил формируется градиентный ветер в циклонах и антициклонах?
13. *Почему скорость ветра в циклонах обычно больше, чем в антициклонах?
14. Сформулируйте закон Бейс-Балло для слоя трения.
15. Почему в пограничном слое атмосферы ветер отклоняется от направления изобары влево?
16. Под действием каких сил формируется ветер в циклонах и антициклонах в слое трения?
17. Как направлен ветер в циклонах и антициклонах северного полушария в слое трения?
18. Почему центр циклона является точкой сходимости воздушных потоков, а центр антициклона – точкой их расходимости?
19. Почему в пограничном слое атмосферы наблюдается правое вращение ветра с увеличением высоты?
20. Охарактеризуйте суточный ход ветра в слое трения.
21. Дайте определение термического ветра.
22. От каких факторов зависит скорость термического ветра?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

23. Почему в передней части циклона наблюдается усиление и правое вращение ветра по высоте?

24. Как и почему изменяется ветер по высоте в тыловой части циклона?

25. Как и почему изменяется ветер по высоте в теплом секторе циклона?

26. Как и почему изменяется ветер по высоте в северной части циклона?

27. Дайте определение ведущего потока.

28. Дайте определение метеорологического ветра.

29. Чем истинный ветер отличается от магнитного ветра?

30. Охарактеризуйте ветер, указанный в телеграммах METAR.

31. Охарактеризуйте ветер, указанный в местных сводках фактической погоды на аэродроме.

32. Каким образом скорость ветра в свободной атмосфере влияет на его изменчивость?

33. Что понимают под радиусом действия и сроком годности ветра?

34. *Почему воздушная частица движется в циклоне в северном полушарии против часовой стрелки, а в южном полушарии по часовой стрелке?

35. *Поясните, почему при одинаковом горизонтальном барическом градиенте скорость градиентного ветра в антициклоне больше, чем в циклоне.

36. Поясните, от каких факторов зависит угол отклонения ветра от изобары в слое трения.

37. Нарисуйте линии тока в циклоне при наличии и отсутствии силы трения.

38. Охарактеризуйте условия образования дневного и ночного бриза.

39. Какие местные ветры, Вы знаете?

40. Какой ветер называется фёном?

41. Дайте определение боры.

42. Дайте определение анабатического и катабатического ветров.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Сила горизонтального барического градиента относится к силам…

а) массовым;

б) поверхностным;

в) инерционным;

г) гравитации.

2. Ветер возникает под действием силы…

а) Кориолиса;

б) центробежной;

в) трения;

г) горизонтального барического градиента.

3. Если горизонтальный барический градиент одинаков, то скорость ветра в циклоне…

а) больше скорости геострофического ветра;

б) меньше скорости ветра в антициклоне;

в) больше скорости ветра в антициклоне;

г) равна скорости геострофического ветра.

4. Если горизонтальный барический градиент одинаков, то скорость ветра в антициклоне…

а) больше скорости геострофического ветра;

б) меньше скорости ветра в циклоне;

в) меньше скорости геострофического ветра;

г) равна скорости геострофического ветра.

5. Ускорение, которое получает воздушная частица под действием горизонтального барического градиента, численно равно…

а) ускорению свободного падения;

б) силе Кориолиса;

в) силе трения;

г) силе горизонтального градиента давления.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. Чем меньше расстояние между изобарами на приземной карте погоды, тем…

а) меньше горизонтальный градиент давления;

б) слабее ветер;

в) сильнее ветер;

г) меньше сила трения.

7. Сила, направленная в сторону, противоположную движению воздушной частицы, – это…

а) сила Кориолиса;

б) сила горизонтального барического градиента;

в) центробежная сила;

г) сила трения.

8. В северном полушарии в свободной атмосфере в умеренных широтах воздушная частица движется в циклоне…

а) по часовой стрелке;

б) против часовой стрелки;

в) под углом 30° к изогипсе;

г) в направлении центра циклона.

9. В южном полушарии в пограничном слое атмосферы ветер отклоняется от направления изобары…

а) по часовой стрелке;

б) против часовой стрелки;

в) в том же направлении, что и в северном полушарии;

г) все ответы правильные.

10. Сила горизонтального барического градиента уравновешивается силами Кориолиса, трения и центробежной…

а) в антициклоне в пограничном слое;

б) в антициклоне в свободной атмосфере;

в) в циклоне в пограничном слое;

г) в циклоне в свободной атмосфере.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

11. Сходимость воздушных потоков и восходящие движения воздуха наблюдаются:

а) в антициклоне;

б) в циклоне;

в) в гребне;

г) все ответы правильные.

12. В пограничном слое атмосферы наблюдается чаще всего…

а) правое вращение ветра с увеличением высоты;

б) левое вращение ветра с увеличением высоты;

в) постоянство направления ветра по высоте;

г) все ответы правильные.

13. Суточный ход приземного ветра над сушей характеризуется…

а) максимумом скорости ветра ночью или утром;

б) максимумом скорости ветра в послеполуденные часы;

в) минимумом скорости ветра ночью или утром;

г) минимумом скорости ветра в послеполуденные часы.

14. В передней части циклона ветер с увеличением высоты…

а) усиливается и поворачивает вправо;

б) усиливается и поворачивает влево;

в) усиливается, не меняя направление;

г) ослабевает, не меняя направления.

15. Обращение ветра наблюдается...

а) в передней части антициклона;

б) в тыловой части антициклона;

в) в теплом секторе циклона;

г) в северной части циклона.

16. В тыловой части циклона с высотой наблюдается…

а) правое вращение ветра;

б) левое вращение ветра;

в) обращение ветра;

г) ослабление ветра.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

17. Устойчивый воздушный поток в средней тропосфере, в направлении и со скоростью которого перемещаются барические системы, воздушные массы, называется…

а) струйным течением;

б) термическим ветром;

в) ведущим потоком.

18. В теплом секторе циклона с высотой наблюдается…

а) правое вращение ветра;

б) левое вращение ветра;

в) обращение ветра;

г) постоянство направления и усиление ветра.

19. В телеграммах METAR указывается ветер…

а) истинный, средний за 10 мин;

б) магнитный, средний за 2 мин;

в) метеорологический, мгновенный;

г) на высоте 100 м.

20. На приземных картах погоды дается ветер…

а) прогностический;

б) истинный;

в) магнитный;

г) навигационный.

21. В местных сводках погоды по аэродрому указывается ветер…

а) градиентный;

б) магнитный;

в) истинный;

г) термический.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

22. При восточном магнитном склонении 4° и истинном ветре 300° магнитный ветер…

а) имеет направление 304°;

б) имеет направление 296°;

в) не отличается от истинного ветра;

г) меняется на 10°.

23. Чем больше скорость ветра, тем…

а) больше изменчивость его направления;

б) меньше ее изменчивость;

в) меньше изменчивость его направления;

г) больше ее изменчивость.

24. Чем меньше скорость ветра, тем…

а) больше изменчивость его направления;

б) меньше ее изменчивость;

в) меньше изменчивость его направления;

г) больше ее изменчивость.

25. Жаркий, сухой, порывистый ветер, дующий с подветренной части горы в сторону долины, называется…

а) бризом;

б) фёном;

в) борой;

г) градиентным.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 5

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

5.1. Роль вертикальных движений в формировании погоды

Вертикальные движения воздуха способствуют переносу тепла, водяного пара, твердых и жидких аэрозолей, импульса в вертикальном направлении. Восходящие движения воздуха приводят к образованию облаков, а нисходящие – к размыванию (исчезновению) облаков.

Вертикальные движения в атмосфере приводят к образованию опасных для полетов мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, с которыми связаны грозы, град, шквалы, смерчи, сильная турбулентность, сильное обледенение, сильные сдвиги ветра.

В зависимости от причин возникновения различают четыре вида вертикальных движений воздуха: конвекцию, восходящее скольжение, динамическую турбулентность и волновые движения.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.2. Конвекция

Конвекция – вертикальные движения воздуха со скоростью до нескольких десятков м/с под действием архимедовой силы. Различают термическую и вынужденную конвекцию. Термическая конвекция возникает в результате неравномерного нагревания солнечными лучами подстилающей поверхности вследствие ее неоднородности. Термическая конвекция может быть неупорядоченной и упорядоченной.

Неупорядоченная конвекция – термическая турбулентность – существует в виде беспорядочных струй или пузырей воздуха, которые называются термиками и имеют характерный размер несколько десятков метров. Более теплые термики как более легкие поднимаются вверх, а более холодные (тяжелые) – опускаются вниз.

Упорядоченная конвекция характеризуется тем, что в восходящих и нисходящих движениях участвуют достаточно большие массы воздуха. Восходящие струи имеют характерные размеры до нескольких десятков километров. Упорядоченная конвекция развивается до больших высот и может охватывать всю тропосферу. Скорость восходящих потоков может достигать нескольких десятков метров в секунду. С упорядоченной конвекцией связано развитие кучево-дождевых облаков.

Термическая конвекция имеет хорошо выраженный суточный и годовой ход с максимумом развития летом в послеполуденные часы. Термическая конвекция наблюдается также в холодной воздушной массе при ее движении над теплой подстилающей поверхностью.

Вынужденная конвекция возникает на атмосферных фронтах при вытеснении теплого воздуха в верхние слои атмосферы, а также при натекании воздуха на крутые наветренные склоны гор (орографическая конвекция). Особенно часто вынужденная конвекция наблюдается на холодных фронтах.

В зонах конвективной деятельности образуются облака вертикального развития, которые называются конвективными или кучевообразными облаками. К ним относят кучевые (Cu) и кучево-дождевые облака (Cb).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.3. Восходящее скольжение

Восходящее скольжение – это упорядоченный подъем со скоростью 5-10 см/с теплого воздуха по клину холодного воздуха на атмосферных фронтах. Восходящее скольжение наблюдается также при натекании теплого воздуха на пологие склоны гор – орографическое восходящее скольжение. Горизонтальная протяженность зон восходящего скольжения на атмосферных фронтах – до нескольких тысяч километров.

В результате восходящего скольжения образуются слоистообразные облака: слоисто-дождевые (Ns), высоко-слоистые (As) и перисто-слоистые (Cs). Болтанка ВС в этих облаках, как правило, слабая или отсутствует, но часто наблюдается обледенение ВС при отрицательных температурах воздуха.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.4. Динамическая турбулентность

Динамическая турбулентность – беспорядочные вихри в атмосфере, возникающие при ветре и трении воздуха о подстилающую поверхность. Эта турбулентность называется иногда механической. Она наблюдается в любое время года и суток в пограничном слое атмосферы и зависит по интенсивности от скорости ветра и шероховатости (неровностей) подстилающей поверхности, т.е. от орографии. Чем сильнее ветер и больше коэффициент трения, зависящий от шероховатости подстилающей поверхности, тем интенсивнее динамическая турбулентность (см. разд. 9.3).

Скорость вертикальных движений при динамической турбулентности может достигать нескольких м/с. При этих условиях образуются слоисто-кучевые облака (Sc), относящиеся к нижнему ярусу. На этапах взлета и посадки ВС динамическая турбулентность может вызвать умеренную болтанку ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.5. Волновые движения в атмосфере

Волновые движения воздуха возникают в слое инверсии и по обе стороны от него вследствие разрыва скорости ветра и плотности (температуры) воздуха. Образуются воздушные волны длиной от 50 до 2000 м. В вершинах (гребнях) волн наблюдаются восходящие движения, а в долинах (ложбинах) волн – нисходящие движения воздуха. В результате волновых процессов образуются волнообразные облака: слоисто-кучевые (Sc), слоистые (St), высококучевые (Ac), перисто-кучевые (Cc). Волнообразные облака имеют максимум повторяемости ночью в холодный период года.

Горные (орографические) волны наблюдаются в атмосфере на подветренной стороне гор, могут достигать тропопаузы и даже проникать в стратосферу. Развитию горных волн благоприятствует устойчивая стратификация воздушной массы, взаимодействующей с горой. Скорость вертикальных движений в горных волнах составляет несколько метров в секунду. При полетах в области горных волн наблюдается циклическая болтанка ВС. Типичными облаками горных волн является чечевицеобразные облака, которые называются орографическими облаками. Чаще всего это высококучевые облака.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.6. Адиабатические процессы в атмосфере

Адиабатический процесс в атмосфере – это термодинамический процесс, при котором изменение температуры частицы воздуха происходит без теплообмена с окружающей средой.

При вертикальном движении воздушной частицы ее объем изменяется значительно, а приток тепла извне мал и им можно пренебречь. Поэтому вертикальные движения воздуха считаются адиабатическими.

Двигаясь вверх, воздушная частица попадает в менее плотные слои атмосферы, расширяется и охлаждается. При нисходящем движении частица попадает под большее давление воздуха и сжимается. Работа по сжатию частицы переходит во внутреннюю энергию частицы, поэтому опускающийся воздух нагревается.

Сухоадиабатический процесс – это адиабатическое изменение состояния влажной ненасыщенной частицы воздуха.

Сухоадиабатический градиент температуры – изменение температуры воздушной ненасыщенной частицы на 1 °С при ее подъеме или опускании на 100 м высоты. При подъеме рассматриваемой частицы температура ее понижается, относительная влажность увеличивается. При опускании частицы температура ее повышается, относительная влажность уменьшается. Удельная влажность при вертикальном движении частицы остается постоянной.

График изменения температуры воздуха в зависимости от его давления (высоты) при сухоадиабатическом процессе называется сухой адиабатой. **Сухие адиабаты** – это прямые линии.

Влажноадиабатический процесс – это адиабатическое изменение состояния насыщенной водяным паром воздушной частицы. Относительная влажность частицы – 100 %.

Влажноадиабатический градиент температуры показывает, как изменяется температура насыщенной частицы при ее подъеме или опускании на 100 м.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

При подъеме насыщенной частицы происходит понижение ее температуры, что приводит к конденсации водяного пара и выделению скрытой теплоты конденсации.

Влажноадиабатический градиент температуры меньше сухоадиабатического и зависит от температуры и давления воздуха. Чем выше температура и меньше давление поднимающейся частицы воздуха, тем меньше влажноадиабатический градиент.

Влажные адиабаты – кривые, которые показывают, как изменяется температура поднимающейся насыщенной воздушной частицы.

При температуре 10 °С и давлении воздуха 1000 гПа влажноадиабатический градиент в два раза меньше сухоадиабатического. При увеличении высоты в тропосфере влажноадиабатический градиент увеличивается, приближаясь к сухоадиабатическому.

При опускании насыщенной частицы, не содержащей капель воды, температура ее повышается по сухоадиабатическому закону. Эта воздушная частица становится ненасыщенной, относительная влажность ее уменьшается, а удельная влажность не изменяется.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.7. Уровни конденсации и конвекции. Кривая состояния

Уровень конденсации – высота, на которой поднимающаяся частица воздуха становится насыщенной водяным паром. Высота нижней границы облаков располагается выше уровня конденсации примерно на 100 м.

Высоту уровня конденсации можно определить по формуле Ферреля

$$H_k = 122 \Delta t_d , \qquad (5.1)$$

где H_k – высота уровня конденсации;

Δt_d – дефицит точки росы у поверхности земли.

На каждые 100 м высоты относительная влажность поднимающейся ненасыщенной частицы воздуха увеличивается на 6 %.

Уровень конвекции – высота, на которой температура поднимающейся частицы воздуха равна температуре окружающего воздуха. Если уровень конвекции располагается выше уровня конденсации, то образуются конвективные облака, а если уровень конвекции лежит ниже уровня конденсации, то такие облака не образуются.

Кривая состояния характеризует адиабатическое изменение температуры поднимающейся воздушной частицы. До уровня конденсации кривая состояния совпадает с сухой адиабатой, а выше уровня конденсации – с влажной адиабатой.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.8. Устойчивость стратификации атмосферы

Устойчивость стратификации атмосферы – это способность стратификации атмосферы к поддержанию или затуханию вертикальных движений воздуха. Устойчивость стратификации атмосферы характеризуется вертикальным градиентом температуры, который можно рассчитать по данным радиозондирования атмосферы (см. разд. 2.1.4).

Стратификация атмосферы может быть устойчивой, неустойчивой или безразличной по отношению к ненасыщенной или насыщенной воздушной частице. При устойчивой стратификации атмосферы вертикальный градиент температуры воздуха меньше адиабатического градиента. При неустойчивой стратификации атмосферы вертикальный градиент температуры больше адиабатического градиента. При безразличной стратификации атмосферы вертикальный градиент температуры равен адиабатическому градиенту.

Если воздух ненасыщенный, то вертикальный градиент температуры сравнивается с сухоадиабатическим градиентом, а если воздух насыщен водяным паром, то вертикальный градиент температуры сравнивается с влажноадиабатическим градиентом.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

5.9. Аэрологическая диаграмма

При анализе и оценке метеорологических условий на аэродроме и в районе аэродрома используется аэрологическая диаграмма, на которую наносятся фактические данные радиозондирования атмосферы. По этим данным строят кривую стратификации, кривую точки росы и кривую состояния. Кривая точки росы – ***депеграмма*** – показывает распределение точек росы по высоте. Депеграмма не может располагаться правее кривой стратификации.

Аэрологическая диаграмма представляет собой семейство графиков – номограмму, с помощью которой решаются задачи по анализу и оценке погодных условий.

Пилоты и диспетчеры УВД должны уметь использовать аэрологическую диаграмму, проанализированную синоптиком, при оценке метеорологических условий на аэродроме и в районе аэродрома. С помощью аэрологической диаграммы можно решить следующие задачи:

– определить уровни конденсации, конвекции, высоту тропопаузы;

– выявить слои инверсии и изотермии, их мощность;

– оценить возможность формирования кучево-дождевых облаков и возникновения ливней, гроз и града. Если кривая состояния располагается правее кривой стратификации, то атмосфера стратифицирована неустойчиво и возможны ливни, гроза, град. Нижняя граница кучево-дождевых облаков находится вблизи уровня конденсации, а верхняя граница – вблизи уровня конвекции;

– по дефициту точки росы можно оценить вероятность образования облаков. При наличии облаков до высоты 5 км дефицит точки росы не превышает 2 °С, а выше 5 км не превышает 4 °С;

– определить барометрические высоты изотерм 0, -10, -20 °С;

– определить возможность обледенения в облаках и осадках. Сильное обледенение возможно при температурах от 0 до -10 °С, умеренное от 11 до -20 °С, слабое при -21 °С и ниже;

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

– определить мощность и направление струйного течения, а также максимальную скорость ветра над аэродромом;

– оценить по изменению ветра и температуры воздуха с высотой возможность умеренной и сильной болтанки ВС;

– оценить изменение предельно допустимой высоты полета, зависящее от отклонения фактической температуры воздуха от температуры в СА:

$$H = -k \times \Delta t\,, \qquad (5.2)$$

где k = 50 м/ °С;

H – изменение предельно-допустимой высоты полета;

Δt – разница между фактической и стандартной температурами, соответствующая стандартной предельно-допустимой высоте полета.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Назовите причину возникновения термической конвекции.
2. Дайте определение конвекции.
3. В чем заключается разница между упорядоченной и неупорядоченной термической конвекцией?
4. В какое время года и суток и почему наиболее выражена термическая конвекция?
5. Охарактеризуйте условия возникновения вынужденной конвекции.
6. Какие облака называются конвективными?
7. Какие вертикальные скорости движения воздуха наблюдаются при конвекции?
8. Дайте определение восходящего скольжения.
9. Под действием каких причин воздух начинает двигаться в вертикальном направлении?
10. Какие облака образуются в результате восходящего скольжения?
11. С какой скоростью наблюдается восходящее скольжение?
12. Что называют динамической турбулентностью и от чего она зависит?
13. Какие облака образуются в результате динамической турбулентности?
14. Охарактеризуйте условия образования волн в атмосфере.
15. Какие облака образуются в результате волновых процессов в атмосфере?
16. В какое время суток и года чаще всего возникают волнообразные облака?
17. Что вы знаете о горных волнах?
18. Назовите типичные облака горных волн.
19. Назовите причину возникновения циклической болтанки ВС.
20. Какие процессы в атмосфере называются адиабатическими?
21. Чем сухоадиабатический процесс отличается от влажноадиабатического?
22. Дайте определение сухой адиабаты.
23. Чему равна относительная влажность воздушной частицы при влажноадиабатическом процессе?
24. *По какой причине и каким образом изменяется влажноадиабатический градиент по высоте?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

25. Может ли влажноадиабатический градиент быть больше сухоадиабатического градиента?

26. Чему равен сухоадиабатический градиент?

27. Как изменяется удельная влажность насыщенной и ненасыщенной частиц при их подъеме?

28. Дайте определение влажной адиабаты.

29. Что называют уровнем конденсации?

30. *Зачем пилоту и диспетчеру УВД нужно знать высоту уровня конденсации?

31. *Напишите формулу для расчета высоты уровня конденсации, зная, что на каждые 100 м высоты относительная влажность поднимающейся ненасыщенной частицы воздуха увеличивается на 6 %.

32. Дайте определение уровня конвекции.

33. Что показывает кривая состояния?

34. Дайте определение стратификации атмосферы.

35. Что понимается под устойчивостью стратификации атмосферы?

36. При какой стратификации атмосферы вертикальный градиент температуры меньше адиабатического градиента?

37. При какой стратификации атмосферы вертикальный градиент температуры больше адиабатического градиента?

38. Как называется стратификация атмосферы, в которой вертикальный градиент температуры равен адиабатическому градиенту?

39. Какие задачи можно решить с помощью аэрологической диаграммы?

40. Что показывает депеграмма?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. В результате неравномерного нагревания солнечными лучами подстилающей поверхности вследствие ее неоднородности возникает...

а) динамическая турбулентность;

б) движения в виде волн;

в) вынужденная конвекция;

г) термическая конвекция.

2. Термическая конвекция хорошо выражена...

а) зимой в послеполуденные часы;

б) весной в послеполуденные часы;

в) летом в послеполуденные часы;

г) осенью утром.

3. Упорядоченный подъем теплого воздуха по клину холодного со скоростью 5-10 см/с называется...

а) вынужденной конвекцией;

б) восходящим скольжением;

в) упорядоченной конвекцией;

г) волновым движением.

4. Чем больше скорость ветра и шероховатость подстилающей поверхности, тем интенсивнее...

а) термическая конвекция;

б) восходящее скольжение;

в) динамическая турбулентность;

г) волновые движения.

5. В результате волновых движений в атмосфере образуются облака...

а) слоисто-дождевые;

б) кучево-дождевые;

в) высококучевые;

г) кучевые разорванные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. Типичными облаками горных волн являются облака ...

а) радиальные;

б) слоистые;

в) башенкообразные;

г) чечевицеобразные.

7. Горные волны наблюдаются...

а) на наветренной стороне горы;

б) на подветренной стороне горы;

в) в пограничном слое атмосферы;

г) если ветер направлен параллельно горному хребту.

8. При полетах в области горных волн наблюдается...

а) кучево-дождевая облачность;

б) грозовая деятельность;

в) циклическая болтанка ВС;

г) отсутствие болтанки ВС.

9. Адиабатическое изменение состояния влажной воздушной ненасыщенной частицы – это...

а) влажноадиабатический процесс;

б) сухоадиабатический процесс;

в) адвекция;

г) турбулентность.

10. При подъеме влажной ненасыщенной частицы воздуха ее...

а) температура повышается;

б) удельная влажность понижается;

в) относительная влажность увеличивается;

г) относительная влажность не изменяется.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

11. Чем выше температура поднимающейся насыщенной частицы воздуха, ...

а) тем больше влажноадиабатический градиент;

б) тем меньше влажноадиабатический градиент;

в) тем меньше влажноадиабатический градиент отличается от сухоадиабатического градиента;

г) тем меньше ее относительная влажность.

12. Адиабатическое изменение температуры понижающейся воздушной частицы характеризует...

а) кривая стратификации;

б) депеграмма;

в) кривая состояния;

г) уровень конвекции.

13. Высота, на которой температура поднимающейся частицы воздуха равна температуре окружающего ее воздуха, называется...

а) уровнем конденсации;

б) уровнем конвекции;

в) сухой адиабатой;

г) влажной адиабатой.

14. Способность стратификации атмосферы к затуханию вертикальных движений воздуха называется...

а) неустойчивостью стратификации атмосферы;

б) инверсией;

в) устойчивостью стратификации атмосферы;

г) адиабатическим процессом.

15. Если вертикальный градиент температуры в атмосфере больше сухоадиабатического градиента, то стратификация атмосферы называется...

а) устойчивой;

б) неустойчивой;

в) безразличной.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

16. Если кривая состояния на аэрологической диаграмме находится правее кривой стратификации, то атмосфера стратифицирована...

а) устойчиво;

б) неустойчиво;

в) безразлично.

17. Изобары, изотермы, изограммы на аэрологической диаграмме – это линии равных значений...

а) давления, температуры, виртуального добавка;

б) давления, температуры, удельной влажности воздуха;

в) давления, температуры, относительной влажности воздуха.

18. Чем меньше дефицит точки росы, ...

а) тем меньше относительная влажность воздуха;

б) тем меньше вероятность образования облаков;

в) тем ближе воздух к состоянию насыщения;

г) тем больше вероятность образования облаков.

19. При наличии облаков до высоты 5 км дефицит точки росы...

а) больше 2 °С;

б) не превышает 2 °С;

в) меньше -2 °С;

г) меньше 0 °С.

20. При наличии облаков выше 5 км дефицит точки росы...

а) не превышает 0 °С;

б) не превышает -2 °С;

в) не превышает 4 °С;

г) не определяется.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 6

ОБЛАКА И АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

6.1. Роль информации об облачности при оценке метеорологических условий полета

При оценке метеорологических условий на аэродроме, в районе аэродрома и по маршруту полета пилоты и диспетчеры УВД должны знать фактическую и прогностическую информацию о количестве облаков, высоте их нижней и верхней границ, форме облаков, явлениях погоды, связанных с облаками и влияющих на полеты ВС. Особенно важна информация о конвективной облачности, с которой связаны опасные для авиации явления погоды: сильные ливневые осадки, сильный сдвиг ветра, град, грозы, сильное обледенение и сильная атмосферная турбулентность.

Необходимость информации об облачности обусловлена тем, что облака ухудшают наклонную видимость. Облака нижнего яруса связаны с ухудшением горизонтальной видимости у земной поверхности. От облачности зависит приток солнечной энергии к поверхности земли и дневная освещенность. Из облаков выпадают атмосферные осадки, ухудшающие горизонтальную видимость. Облака являются характеристикой атмосферных процессов: по форме облаков можно определить степень опасности этих процессов для полетов ВС.

Пилот должен уметь оценить в полете форму облаков, их количество и высоту нижней и верхней границ. Чтобы сделать это, необходимо знание причин и закономерностей образования облаков различных форм и умение оценивать облачность в комплексе с другими метеорологическими факторами.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6.2. Классификация облаков

Облако – видимое скопление взвешенных в атмосфере продуктов конденсации и/или сублимации водяного пара, т.е. капель воды и/или кристаллов льда на некоторой высоте от поверхности земли. Характеристикой облака является его водность. ***Водность облака*** – это масса жидкой воды, содержащаяся в единичном объеме облака. На метеорологических станциях водность облаков не измеряется.

Фазовое состояние облачных элементов характеризует микроструктуру облака. В зависимости от микроструктуры облака делятся на водяные, состоящие из капель воды, кристаллические, состоящие из кристаллов льда, и смешанные облака, включающие капли воды и кристаллы льда. Под микроструктурой облака понимается не только фазовое состояние облачных элементов, но также размеры и количество облачных частиц в единице объема.

Водяные облака наблюдаются при температуре воздуха выше -10 °С. Из них выпадает, как правило, морось. Смешанные облака наблюдаются при температуре от -10 до -40 °С. Из них выпадают наиболее часто наблюдаемые (основные) виды атмосферных осадков – обложные и ливневые осадки. Кристаллические облака наблюдаются при температуре ниже -40 °С и состоят из кристаллов льда и снежинок. Осадки из этих облаков не выпадают.

Помимо микроструктуры, облака классифицируются в зависимости от высоты их нижней границы и развития по вертикали, причины образования и внешнего вида. Различают три яруса облаков – нижний, средний, верхний – и облака вертикального развития.

Причиной образования облаков являются восходящие движения воздуха (см. разд. 5). Генетическая классификация облаков основана на выявлении причин возникновения тех или иных облаков. В зависимости от вида вертикальных движений, приводящих к возникновению облаков, выделяют кучевообразные, слоистообразные и волнообразные (волнистые) облака.

Причиной образования кучевообразных облаков является термическая или вынужденная конвекция. Эти облака называют конвективными, а районы,

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

в которых они возникают, называют зонами конвективной деятельности. Причиной образования слоистообразных облаков является восходящее скольжение. Волнообразные облака возникают в результате волновых движений в атмосфере.

В основе морфологической классификации облаков, которая является международной, лежит их внешний вид и высота расположения нижней границы. Выделяют десять основных форм облаков (табл. 6.1) В каждой из основных форм, кроме слоисто-дождевых, различают два-три вида облаков.

Таблица 6.1

Международная классификация облаков

Русское название форм облаков	Латинское название форм облаков	Сокращенное обозначение форм облаков	Высота основания облаков, км	Толщина слоя, км
Облака верхнего яруса (высота основания более 6 км)				
1. Перистые	Cirrus (циррус)	Ci	7-10	1-2
2. Перисто-кучевые	Cirrocumulus (циррокумулюс)	Cc	6-8	0,2-0,4
3. Перисто-слоистые	Cirrostratus (цирростратус)	Cs	6-8	0,1-2,0
Облака среднего яруса (высота основания 2–6 км)				
4. Высококучевые	Altocumulus (альтокумулюс)	Ac	2-6	0,2-0,7
5. Высокослоистые	Altostratus (альтостратус)	As	3-5	1-2
Облака нижнего яруса (высота основания ниже 2 км)				
6. Слоисто-кучевые	Stratocumulus (стратокумулюс)	Sc	0,5-1,5	0,2-0,8
7. Слоистые	Stratus (стратус)	St	0,1-0,7	0,2-0,8
8. Слоисто-дождевые	Nimbostratus (нимбостратус)	Ns	0,1-1,0	2-5
Облака вертикального развития				
9. Кучевые	Cumulus (кумулюс)	Cu	0,8-1,5	1-4
10. Кучево-дождевые	Cumulonimbus (кумулонимбус)	Cb	0,4-1,0	4-10

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Наибольшее влияние на безопасность и регулярность полетов ВС могут оказать самые низкие облака нижнего яруса (St, Ns) и облака вертикального развития (Cu, Cb).

Слоистые облака (St) – это внутримассовые облака, из которых иногда выпадают морось или снежные зерна. St делятся на три вида. St und. – волнистые (undulatus) – возникают в результате волновых движений в атмосфере. St neb. – туманообразные (nebulosus) и St fr. – разорванно-слоистые (stratus fractus) – вследствие динамической турбулентности. Разновидностью St fr. являются разорванно-дождевые облака (fractonimbus, frnb.), которые называются облаками плохой погоды, т.к. образуются под слоем облаков, дающих осадки (As, Ns, Cb).

Слоисто-дождевые (Ns), высокослоистые (As) и перисто-слоистые облака (Cs) являются слоистообразными фронтальными облаками. Они обычно закрывают все небо без разрывов. Виды и разновидности Ns не выделяются.

Слоисто-кучевые (Sc), высококучевые (Ac) и перисто-кучевые (Cc) облака – внутримассовые облака. Они бывают кучевообразными (cumuliformis) и волнообразными (undulatus). Разновидностью высококучевых кучевообразных облаков являются Ac cast. – башенковидные (castellanus) – предвестники дневной грозы. Разновидностью высококучевых волнистых облаков служат Ac lent. – чечевицеобразные (lenticularis) – предвестники холодного фронта второго рода. Если Ac lent наблюдаются на подветренной стороне гор, то указывают на наличие горных волн в атмосфере и называются орографическими. Конденсационные следы, которые образуются за самолетами на больших высотах, имеют внешний вид Cc.

Перистые облака (Ci) являются кристаллическими и считаются самыми высокими облаками тропосферы. В тропической зоне высота основания их достигает 17-18 км. Разновидностью Ci являются когтевидные (uncinus, unc.) облака – предвестники теплого фронта.

Кучевые облака (Cu) делятся на три вида – плоские (humilis, hum.), средние (mediocris, med.) и мощные (congestus, cong.). Cu hum. называются облаками хорошей погоды. Вертикальная протяженность их меньше горизонтальных размеров. Толщина слоя Cu med. составляет 1-2 км. Вертикальная протяженность

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Cu cong. более 2 км. Кучевые облака являются водяными. В умеренных широтах осадки из них не выпадают.

Кучево-дождевые облака (Cb) бывают двух видов: лысые (calvus, calv.) и волосатые (capillatus, cap.). Cb являются смешанными. Из них выпадают ливневые осадки (см. разд. 9.4).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6.3. Структура и изменчивость высоты нижней границы облаков (НГО)

Основание облаков нижнего яруса (St, Sc, Ns) представляет собой переходный слой, находящийся в колебательном движении. Изменение высоты нижней границы облаков (НГО) происходит во времени и пространстве. При определении этой высоты в полете нужно учитывать, что нижняя граница переходного слоя соответствует уровню потери видимости естественного горизонта, а верхняя граница этого слоя – уровню потери вертикальной видимости под самолетом. Высота нижней границы переходного слоя считается высотой НГО. Толщина переходного слоя может колебаться от 50 до 200 м. Чем более выражена атмосферная турбулентность, тем больше толщина переходного слоя. При наличии инверсии сжатия толщина меньше, чем в случае адвективной инверсии.

Высота НГО понижается над холмами, лесами, а также в зоне выпадения атмосферных осадков, когда наблюдаются Frnb. Над аэродромом изменения высоты НГО в течение 10 мин могут достигать 50 % ее средней величины.

По внешнему виду верхней границы слоистых и слоисто-кучевых облаков можно судить о высоте их нижней границы. Если верхняя граница облаков ровная, то высота НГО небольшая (менее 200 м) – облака находятся близко к поверхности земли. Если верхняя граница облаков бугристая, то основание их располагается на высоте 300 м или более от поверхности земли.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6.4. Наблюдение за облаками на аэродроме

При наблюдении за облаками на аэродроме определяют их количество, форму, высоту нижней границы. Количество облаков показывает степень покрытия неба облаками в октантах (октах). Один октант – это одна восьмая часть небосвода.

Форма облаков определяется по их внешнему виду в соответствии с морфологической классификацией облаков. При наблюдении за облаками используется Атлас облаков, содержащий фотографии различных разновидностей облаков.

Высота НГО – расстояние от поверхности земли до основания облака. Измерение высоты основано на определении времени прохождения импульсом света расстояния от излучателя импульса до НГО и обратно до приемника импульса. Этот метод измерения высоты НГО называется светолокационным. При тумане и сильных атмосферных осадках измеряется вертикальная видимость (VV).

На аэродромах, оборудованных системами захода на посадку, высота НГО при ее значениях 200 м или менее, измеряется с помощью датчиков (измерителей высоты облаков), установленных на БПРМ. При высоте НГО более 200 м могут использоваться датчики, расположенные на аэродроме в других местах. Если БПРМ расположена выше или ниже порога ВПП на 10 м или более, то в измеренное значение высоты НГО или вертикальной видимости вводится поправка на разность высот. Поправка вычитается, если БПРМ находится ниже, и прибавляется, если БПРМ находится выше порога ВПП.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6.5. Атмосферные осадки

Атмосферные осадки – это вода в твердом или жидком состоянии, выпадающая из облаков. Количество осадков на синоптических станциях измеряется толщиной слоя выпавшей воды в миллиметрах. В год на земном шаре выпадает в среднем 1000 мм. К осадкам относятся: дождь, снег, морось, мокрый снег, ледяная и снежная крупа, снежные зерна, град, ледяной дождь, ледяные иглы.

Выпадение осадков из облаков происходит в тех случаях, когда скорость падения капель воды или кристаллов льда больше скорости восходящих потоков воздуха. Капли, содержащиеся в облаке, могут расти вследствие конденсации водяного пара, коагуляции (слияния капель). Рост кристаллов в облаке может происходить вследствие сублимации, переконденсации. Рост облачных элементов может происходить также в результате столкновения и смерзания ледяных частичек с переохлажденными каплями. Это явление называется **аккрецией**.

Переконденсация – процесс роста кристаллов льда в смешанном облаке при испарении переохлажденных капель. Этот процесс происходит вследствие различия упругости насыщения над водой и льдом: упругость насыщения над поверхностью льда меньше, чем над поверхностью воды. Капли испаряются, а кристаллы льда растут: в облаке происходит «перекачка» водяного пара с капель на кристаллы.

Переконденсация приводит к быстрому росту снежинок и выпадению их из облака. При положительной температуре под облаком снежинки тают, превращаясь в крупные капли дождя. Переконденсация – основной механизм, приводящий к выпадению обложных и ливневых осадков. Обложные осадки в виде дождя (RA) или снега (SN) выпадают из Ns или As. Ливневые осадки в виде ливневого дождя (SHRA) или ливневого снега (SHSN) выпадают из Cb.

Методы искусственного осаждения облаков путем засева их твердой углекислотой, йодистым серебром и другими реагентами основаны на использовании физического процесса переконденсации.

Осадки на поверхности земли, ВПП могут осаждаться из воздуха – это иней, роса, изморозь (см. разд. 9.3).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Морось (DZ) – осадки, выпадающие из St и состоящие из водяных капелек диаметром от 0,2 до 0,5 мм. Морось возникает как результат коагуляции капель воды, содержащихся в облаках.

Обложной дождь (RA) выпадает в виде капель диаметром более 0,5 мм. ***Ливневый дождь*** (SHRA) в умеренных широтах выпадает из Cb. В тропической зоне, где водяные Cu cong. имеют большую вертикальную протяженность, ливневый дождь выпадает из этих облаков и является результатом коагуляционного роста капель.

Снежные зерна (SG) – осадки, выпадающие из St в холодный период, диаметр зерен менее 1 мм. ***Ледяная и снежная крупа*** (GS) – осадки в виде прозрачных и белых шариков диаметром менее 5 мм, выпадающих из Cb.

Град (GR) имеет диаметр от 5 до 50 мм и выпадает из Cb. Частицы града (градины), как правило, имеют неправильную форму.

Ледяные иглы (IC) называются алмазной пылью. Они имеют форму очень мелких иголок, столбиков, пластинок. IC образуются в результате сублимации водяного пара в воздухе при низкой температуре воздуха (ниже -20 °C). Они медленно оседают на поверхность земли при ясном небе. Эти осадки называют «перистым облаком в приземном слое».

Ледяной дождь (PL) – осадки в виде ледяных шариков с жидким ядром внутри, выпадающие из Cb. Ледяной дождь сопровождается образованием ледяной корки (гололеда) на предметах, ВПП, ВС во время их стоянки на земле. Это опасный для авиации вид осадков.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Дайте русское и латинское названия десяти формам облаков.
2. Назовите облака нижнего, среднего и верхнего яруса.
3. Что вы знаете об облаках вертикального развития?
4. Какие латинские сокращения используются для обозначения десяти форм облаков?
5. Какие облака различают в зависимости от их микроструктуры?
6. Что понимают под микроструктурой облака?
7. Дайте определение облака.
8. Что называют водностью облака?
9. Какие облака различают в зависимости от причины их образования?
10. Какие четыре признака положены в основу классификации облаков?
11. Охарактеризуйте морфологическую классификацию облаков?
12. Зачем облака классифицируют?
13. *Охарактеризуйте влияние облаков нижнего яруса на полеты ВС.
14. Что представляет собой нижняя граница облаков нижнего яруса?
15. *Сформулируйте правила оценки высоты НГО в полете.
16. Охарактеризуйте метод измерения высоты НГО на аэродроме.
17. Относительно какого уровня определяется высота НГО на аэродроме?
18. *Относительно какого уровня прогнозируется высота НГО при полетах ВС по маршруту ниже нижнего эшелона?
19. Что понимают под количеством облаков?
20. Когда дается информация о вертикальной видимости на аэродроме?
21. Что называют атмосферными осадками?
22. Из каких облаков выпадают ливневые и обложные осадки?
23. Почему выпадают атмосферные осадки?
24. Дайте определения сублимации, конденсации, переконденсации водяного пара.
25. Что такое аккреция?
26. Из каких облаков выпадает морось и что она собой представляет?
27. Какие осадки являются опасными для полетов ВС и почему?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

28. В чем заключается опасность ледяного дождя для полетов ВС?
29. Какие облака называются конвективными?
30. *Зачем диспетчеру УВД нужна информация об облачности?
31. *Зачем пилоту нужна информация об облачности?
32. Какие облака являются самыми опасными для полетов и почему?
33. Почему образуются облака?
34. В чем заключается опасность сильных ливневых осадков для авиации?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Какие формы облаков относятся к нижнему ярусу и облакам вертикального развития?

а) Cu; As; Ns;

б) Ns; Cb; St;

в) Cs; St; As;

г) Cu; Ac; Sc.

2. Из каких облаков выпадают обложные осадки?

а) кучево-дождевые облака;

б) слоисто-дождевые облака;

в) разорвано-дождевые облака;

г) высококучевые облака.

3. Сокращение «VV» в регулярных сводках погоды означает…

а) переменную видимость;

б) вертикальную видимость;

в) горизонтальную видимость;

г) вулканический пепел.

4. Экипажи ВС во время набора высоты сообщают данные о высоте нижней и верхней границы облаков…

а) немедленно;

б) по запросу диспетчера;

в) после достижения безопасной высоты;

г) по запросу синоптика.

5. Самыми опасными для полетов ВС являются облака...

а) кучевые;

б) мощные кучевые;

в) кучево-дождевые;

г) слоисто-дождевые.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. Запрещается преднамеренно входить в облака…

а) Ns; Cb;

б) Cb; TCu;

в) Cb; St; Cu;

г) Cu; Sc; Cb.

7. В умеренных широтах России зимой, как правило, не наблюдается облачность…

а) перистая;

б) кучево-дождевая;

в) кучевая;

г) слоистая.

8. Морось выпадает из облаков…

а) St;

б) Ns;

в) Cb;

г) As.

9. Облако – это…

а) водяной пар;

б) ядра конденсации;

в) смесь газов;

г) капли воды и/или кристаллы льда.

10. Град (GR) чаще всего выпадает…

а) летом из кучево-дождевых облаков;

б) зимой из кучево-дождевых облаков;

в) весной из мощно-кучевых облаков;

г) осенью из мощно-кучевых облаков.

11. Обложные осадки выпадают из облаков…

а) кристаллических;

б) водяных;

в) смешанных;

г) вертикального развития.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

12. Самые высокие облака тропосферы – это…

а) кучевые облака;

б) высококучевые облака;

в) слоистые облака;

г) перистые облака.

13. Кучево-дождевые облака являются…

а) водяными;

б) смешанными;

в) кристаллическими;

г) волнообразными.

14. Признаком наличия горных волн в атмосфере служат облака…

а) кучевые;

б) кучево-дождевые;

в) чечевицеобразные;

г) башенковидные.

15. Масса жидкой воды в единичном объеме облака называется…

а) абсолютной влажностью;

б) удельной влажностью;

в) водностью;

г) все ответы правильные.

16. Процесс роста кристаллов льда при испарении переохлажденных капель в облаке называется…

а) конденсацией;

б) сублимацией;

в) переконденсацией;

г) аккрецией.

17. Самые опасные для полетов ВС атмосферные осадки – это…

а) ливневый дождь;

б) морось;

в) снежные зерна;

г) град.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

18. Высококучевые чечевицеобразные облака являются…

а) кучевообразными;

б) слоистообразными;

в) волнообразными;

г) все ответы правильные.

19. В умеренных широтах ливневые осадки выпадают из облаков…

а) мощных кучевых;

б) слоисто-дождевых;

в) кучево-дождевых;

г) все ответы правильные.

20. Самые низкие облака нижнего яруса – это облака…

а) слоисто-кучевые;

б) кучевые;

в) слоистые;

г) перистые.

21. Уровень кристаллизации в облаке соответствует температуре…

а) 0 °С;

б) -10 °С;

в) -40 °С;

г) все ответы правильные.

22. С нижней границей облаков совпадает уровень …

а) конвекции;

б) конденсации;

в) кристаллизации;

г) нулевой изотермы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 7

ВИДИМОСТЬ И АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ЕЕ УХУДШАЮЩИЕ

7.1. Горизонтальная видимость

7.1.1. Факторы, определяющие дальность видимости

Характеристикой горизонтальной видимости является **дальность видимости** – наибольшее расстояние, на котором можно обнаружить (увидеть и опознать) черные объекты днем и световые ориентиры ночью.

Днем, когда освещенность может изменяться от 400 до 100 000 люкс, дальность видимости черного объекта, определяемая визуально, зависит не только от этой освещенности, но и от других факторов. К ним относятся: угловые размеры объекта, величина яркостного контраста, яркость фона, порог контрастной чувствительности глаза, прозрачность атмосферы, направление линии визирования наблюдателя относительно солнца (по солнцу видно гораздо лучше, чем против солнца). Все эти факторы связаны между собой.

Днем человеческий глаз может видеть предметы с угловыми размерами не меньше, чем разрешающая способность глаза, равная 1 мин. **Разрешающая способность глаза** – это наименьшее угловое расстояние между двумя точками, при котором они воспринимаются как раздельные.

Днем объекты в атмосфере обладают определенной яркостью, т.к. они отражают солнечный свет, падающий на них. Объект, находящийся рядом с наблюдателем, имеет собственную яркость. При увеличении расстояния от объекта яркость его уменьшается из-за рассеяния и поглощения света в атмосфере, и ее называют видимой яркостью. Яркость объекта равна силе света, приходящейся на единицу площади освещаемой поверхности в заданном направлении.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Объект в атмосфере днем можно увидеть, если он отличается по яркости от фона, на котором наблюдается. Яркостный контраст равен разности яркостей фона и объекта, деленной на яркость фона.

Человеческий глаз может отличить объект от фона, если яркостный контраст не меньше порога контрастной чувствительности глаза. Порог **контрастной чувствительности глаза** (ε) – наименьшее значение различимого глазом яркостного контраста. В дневное время для объектов с угловыми размерами более 15 мин порог контрастной чувствительности глаза не зависит от освещенности и размеров объекта.

Установлено, что при определении дальности обнаружения объекта (при приближении к объекту) $\varepsilon = 0{,}05$, а при определении дальности потери видимости объекта (при удалении от объекта) $\varepsilon = 0{,}02$. При уменьшении освещенности в сумерки ε увеличивается до 0,7.

Дальность видимости зависит от прозрачности атмосферы, т.е. ее способности пропускать световые лучи. **Коэффициент прозрачности атмосферы** (T) – это отношение светового потока, прошедшего через слой атмосферы единичной длины, к световому потоку, вошедшему в этот слой в виде параллельного пучка лучей.

Коэффициент прозрачности атмосферы связан с показателем ослабления (σ):

$$\sigma = -\ln T, \qquad (7.1)$$

где ln – основание натурального логарифма.

Показатель ослабления (σ) – это величина ослабления светового потока в коллимационном пучке при прохождении его через слой атмосферы единичной длины. Это ослабление происходит вследствие поглощения и рассеяния света на частицах, содержащихся в атмосфере.

Ночью видимость определяется по световым ориентирам – огням. Эта видимость зависит от силы огня, освещенности фона, на котором огонь наблюдается, а также от прозрачности атмосферы.

Горизонтальная видимость, используемая при метеорологическом обеспечении полетов, представляет собой наибольшую из следующих величин:

– метеорологическая дальность видимости (МДВ);

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

– дальность видимости огней с интенсивностью примерно 1000 кандел (электрическая лампочка 60 Вт) на неосвещенном фоне, эта величина зависит от освещения фона.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

7.1.2. Метеорологическая дальность видимости и дальность видимости огня

Зрительное восприятие черных объектов днем и световых ориентиров (огней) ночью характеризуется соответственно физическими законами Кошмидера и Алларда.

Закон Кошмидера выражает взаимосвязь между видимым яркостным контрастом (C) объекта, визуально наблюдаемого на расстоянии (M) на фоне неба у горизонта, и его собственным яркостным контрастом (C_0):

$$C = C_o \times T^M . \qquad (7.2)$$

Собственный яркостный контраст – это контраст, который имеет объект на фоне неба у горизонта, если объект наблюдается с очень близкого расстояния. При наблюдении объекта на расстоянии M величина собственного яркостного контраста уменьшается из-за рассеяния и поглощения света до значения C, которое называется видимым яркостным контрастом.

Собственный яркостный контраст черного объекта равен 1. По мере приближения к черному объекту, который мы хотим обнаружить, он становится видимым на фоне неба у горизонта или на фоне тумана тогда, когда видимый яркостный контраст равен порогу контрастной чувствительности глаза (ε). Считается, что значение ε, равное 0,05, является приемлемым для визуальных наблюдений черных объектов с угловыми размерами более 15 мин на фоне неба у горизонта. С учетом того, что $C_0 = 1$, а $\varepsilon = 0{,}05$, формулу Кошмидера можно записать в виде:

$$M = \frac{\ln 0{,}05}{\ln T} . \qquad (7.3)$$

Расстояние M, определенное по этой формуле, называется метеорологической дальностью видимости (МДВ), которую еще называют метеорологической оптической дальностью (МОД). МДВ – наибольшее расстояние, на котором

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

можно обнаружить черный объект с угловыми размерами более 15 мин на фоне неба у горизонта или на фоне тумана.

Формула Кошмидера показывает, что МДВ зависит только от прозрачности атмосферы и не зависит от других факторов, например, от яркости фона, на котором наблюдается черный объект, и от направления линии визирования наблюдателя относительно солнца.

Заменяя коэффициент прозрачности (T) в уравнении (7.3) показателем ослабления (σ), формулу Кошмидера можно записать в виде:

$$M = \frac{3}{\sigma}. \qquad (7.4)$$

В настоящее время на аэродромах используются два типа приборов, измеряющих МДВ. Это трансмиссометры (импульсные фотометры и регистраторы дальности видимости) и нефелометры (измерители прямого рассеяния). Трансмиссометры измеряют коэффициент прозрачности атмосферы, а нефелометры – показатель ослабления.

Ночью горизонтальная видимость определяется по точечным источникам света (огням). Точечный источник света имеет угловые размеры менее 1 мин. Если огонь виден как размытое пятно, то он считается невидимым. Видимость точечного источника света можно найти, используя закон Алларда. Этот закон выражается уравнением

$$E = \frac{I}{R^2} \times T^R, \qquad (7.5)$$

где E – освещенность, создаваемая точечным источником света на плоскости, перпендикулярной световым лучам;

I – сила света этого источника;

R – расстояние между наблюдателем и источником света;

T – коэффициент прозрачности атмосферы.

Для того чтобы увидеть огонь, освещенность его должна быть не меньше визуального порога освещенности (E_m). Расстояние, при котором $E_m = E$, называется дальностью видимости огня (R). Визуальный порог освещенности называется порогом световой чувствительности глаза или пороговой освещенно-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

стью. Это минимальная освещенность глаза наблюдателя, при которой он может увидеть точечный источник света.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

7.1.3. Дальность видимости на ВПП

Дальность видимости на ВПП (RVR) – это расстояние, в пределах которого пилот ВС, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку ее покрытия или огни, которые ограничивают ВПП или обозначают ее осевую линию. Считается, что высота уровня глаз пилота, находящегося в ВС, равна примерно 5 м. Наблюдение за дальностью видимости на ВПП должно представлять собой как можно более точную оценку этого расстояния.

Информация о RVR предназначена для пилотов и органов УВД как характеристика условий видимости на ВПП в период ограничения видимости (2 км и менее), связанного с атмосферными явлениями.

В настоящее время в мировой практике используются две методики определения RVR: с помощью приборов и с помощью наблюдателя. При определении RVR инструментально применяются трансмиссометры и измерители прямого рассеяния (см. разд. 7.1.2). По измеренным значениям коэффициента прозрачности атмосферы или показателя ослабления с использованием формулы Алларда рассчитывается RVR.

При визуальном определении RVR наблюдатель считает количество огней или маркеров (специальных щитов), которые видны с места наблюдения вблизи ВПП. Зная расстояние между огнями или маркерами, можно определить RVR. Метод наблюдателя не рекомендуется использовать, если ВПП оборудованы для точного захода на посадку при наличии второй или третьей категорий ИКАО.

Оценка RVR на аэродромах любым из существующих методов не учитывает ряд факторов, влияющих на зрительное восприятие пилота. К ним относятся: прозрачность лобового стекла кабины пилота; наличие следов атмосферных осадков на лобовом стекле; уровень освещенности кабины пилота; яркость освещения, которому подвергался пилот перед взлетом и посадкой; физические и психологические факторы (усталость членов экипажа, наличие стрессовой ситуации); направленность яркости фона, на котором наблюдаются огни; увеличение яркости фона в результате обратного рассеяния света от посадочных огней ВС (особенно сильное при снегопадах).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

В Российской Федерации при определении RVR применяются чаще всего трансмиссометры (ФИ-1, ФИ-2, РДВ). Метод трансмиссометра называется базисным, т.к. прозрачность атмосферы измеряется на расстоянии, вдвое большем величины базы. Эта величина может составлять 20, 50 или 100 м в зависимости от типа прибора. База соответствует расстоянию между источником света, в качестве которого обычно служит импульсная лампа, и отражателем пучка света.

Базисный метод является надежным способом оценки прозрачности атмосферы независимо от характера атмосферных явлений, ухудшающих видимость. Недостатком этого метода является то, что трансмиссометры не могут использоваться в местах с неустойчивым грунтом, например, в тундре.

Измеритель прямого рассеяния входит в комплект автоматической метеорологической станции AWOS, которая широко используется на аэродромах в мировой практике. Достоинствами этого нефелометра являются его небольшие размеры и вес, а также возможность использования при неустойчивом грунте. Недостаток этого прибора – его показания зависят от характера атмосферного явления, ухудшающего видимость. Если при этом явлении происходит сильное поглощение света, то прибор показывает завышенное значение горизонтальной видимости. Поэтому, используя измеритель прямого рассеяния, необходимо идентифицировать атмосферные явления для внесения поправок в показания приборов.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

7.1.4. Наклонная дальность видимости

Наклонная дальность видимости – это расстояние, в пределах которого экипаж ВС, выполняющего заход на посадку, видит наземные объекты или огни. В данном случае линия визирования значительно отличается от горизонтальной линии.

Наклонная дальность видимости отличается от RVR в следующих случаях: при мощном тумане; при поземном тумане (горизонтальная видимость 1 км или более); при наличии тонкого слоя тумана (горизонтальная видимость менее 1 км).

Мощный туман, охватывающий большой слой атмосферы, является, как правило, адвективным или фронтальным (см. разд. 7.2). Плотность этого тумана увеличивается с высотой. При мощном тумане наклонная дальность видимости меньше RVR. Если она определяется с высоты 30 м, то часто составляет менее половины значения RVR.

Поземный туман является радиационным. Верхняя граница его проходит ниже высоты, на которой определяется RVR. После приземления ВС и попадания его в область такого тумана способность пилота видеть ВПП резко ухудшается. Методы наблюдения за RVR не позволяют обнаружить поземный туман. В данном случае более эффективной была бы система оценки наклонной дальности видимости.

Тонкий туман, охватывающий небольшой по мощности слой атмосферы, образуется, как правило, при радиационных процессах и характеризуется уменьшением плотности с высотой. Верхняя граница слоя тумана находится выше высоты, на которой определяется RVR. В данных условиях наклонная дальность видимости, оцениваемая пилотом во время захода на посадку или с помощью какой-либо системы измерения наклонной дальности видимости, будет превышать значения RVR. При наличии тонкого тумана использование RVR для оценки условий посадки (в целях обеспечения ее безопасности) более предпочтительно, чем использование значений наклонной дальности видимости.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

7.2. Метеорологические явления, ухудшающие видимость

Видимость – зрительное восприятие объектов в атмосфере – всегда ограничивается вследствие молекулярного рассеяния света и из-за рассеяния и поглощения его частицами (аэрозолями), содержащимися в атмосфере.

Мгла (HZ) – понижение видимости, вызванное взвешенными в атмосфере литометеорами – частицами пыли (DU), песка (SA), дыма (FU). В северных районах РФ отмечают в холодный период снежную мглу (SNHZ). Информация о мгле передается пилотам и органам УВД, когда горизонтальная видимость составляет 5 км или менее.

Песчаная буря (SS) – это подъем в воздух песка на высоту до 15 м под действием ветра и турбулентности. Диаметр песчинок составляет от 0,8 до 1 мм. Песчаные бури характерны для пустынь и возникают обычно днем, а ночью прекращаются. Они могут наблюдаться не только при внутримассовых процессах, но и в связи с прохождением атмосферных фронтов через район аэродрома. Фронтальная песчаная буря выглядит как стена песка. При этом могут отмечаться кучево-дождевые облака, скрытые частицами песка.

Пыльная буря (DS) – подъем в воздух пыли на высоту выше 3 км под действием сильного ветра и турбулентности. Диаметр частичек пыли, в отличие от песка, значительно меньше 1 мм. Пыльная буря наблюдается в степях и охватывает обширный район длиной несколько километров. Впереди надвигающейся пыльной бури могут наблюдаться пыльные вихри. Пыльные бури часто сопровождают кучево-дождевые облака, которые скрываются за частицами пыли.

Пыльные и песчаные вихри (PO) – это вращающиеся столбы воздуха высотой, как правило, не более 90 м, однако в пустынях сильные PO могут достигать высоты 600 м. В систему вращения вихря могут втягиваться песок, пыль, другие мелкие предметы.

Дымка и **туман** являются основными причинами ухудшения горизонтальной видимости до 2 км и менее. Туман (FG**)** – совокупность капель воды и/или кристаллов льда в приземном слое, ухудшающих видимость до значений менее 1 км.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Относительная влажность воздуха при тумане – около 100 %. Диаметр частиц тумана – несколько десятков микрометров. Такие же частицы ухудшают видимость при дымке (BR), сообщения о которой передаются экипажам и органам УВД при видимости от 1 до 5 км.

При температурах воздуха от положительных до -20 °С наблюдаются, как правило, капельно-жидкие туманы. При температурах от -20 до -40 °С – смешанные туманы, состоящие из капель воды и кристаллов льда. При температуре ниже -40°С – кристаллические туманы. Переохлажденный туман (FZFG) – это туман при отрицательной температуре воздуха (см. разд. 9.2). В умеренных широтах переохлажденные туманы обычно являются капельно-жидкими.

Туманы классифицируются в зависимости от физического процесса, приводящего к насыщению воздуха водяным паром и последующей конденсации и сублимации водяного пара. Различают адвективные, радиационные, морозные, антропогенные, орографические, фронтальные туманы и туманы испарения. По синоптическим условиям возникновения туманы делятся на внутримассовые и фронтальные.

Радиационный туман образуется вследствие радиационного выхолаживания земной поверхности и прилегающего к ней слоя воздуха при антициклонической погоде: слабом ветре (1-3 м/с) и отсутствии облаков. Такие туманы формируются в центре антициклона, на оси барического гребня, в седловине.

Тонкие (низкие) радиационные туманы образуются летом в ночное время. Вертикальная мощность их от нескольких метров до нескольких десятков метров. В полете сквозь такой туман хорошо видны наземные ориентиры, а на высоте выравнивания видимость может резко ухудшаться до значений менее 100 м (см. разд. 7.1.4). С восходом солнца эти туманы быстро рассеиваются.

Мощные (высокие) радиационные туманы образуются в холодное время года. Мощность их составляет несколько сотен метров. Они представляют опасность не только при заходе на посадку, но и при полетах на эшелонах до высоты 2 км.

Адвективные туманы образуются при движении теплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность, являются мощными, и занимают

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

большую площадь. Скорость приземного ветра при таких туманах может достигать 15 м/с. Эти туманы формируются в теплом секторе циклона и на западной периферии антициклона. Они могут возникать в любое время суток и года.

Туманы испарения образуются в холодной и устойчивой воздушной массе за счет испарения с водной поверхности озер, рек, водохранилищ тогда, когда температура этой поверхности на 8-12 °С выше прилегающего к ней слоя воздуха. ***Фронтальные туманы*** возникают в зоне теплых фронтов в клине холодного воздуха вследствие смешения теплого и холодного воздуха, а также испарения выпадающих из фронтальных облаков обложных осадков. Эти туманы часто сливаются со слоистообразными облаками.

Морозные и антропогенные туманы наблюдаются при условиях, благоприятных для формирования радиационных туманов. Морозные туманы возникают при температуре воздуха ниже -20 °С. Антропогенные туманы связаны с выбросами тепла, водяного пара, различных аэрозолей (ядер конденсации) из антропогенных источников загрязнения атмосферы.

Туманы склонов называют ***орографическими туманами***. Они образуются при адиабатическом охлаждении перемещающегося вверх по склону горы влажного воздуха. При аналогичных процессах формируются низкие слоистые облака. Если облако снижается до поверхности земли, то наблюдается туман.

При наличии тумана на аэродроме горизонтальная видимость на нем может существенно изменяться. Различают три фазы тумана: фазу образования, основную фазу и фазу ослабления. Начальная фаза (фаза образования тумана) длится от первых признаков возникновения тумана до его максимального распространения над аэродромом. В случае адвективного тумана на аэродроме эта фаза может длиться несколько минут. Радиационный туман также может сформироваться очень быстро, однако образование такого тумана иногда растягивается на несколько часов.

Радиационный туман может вначале возникнуть как ***поземный туман*** (MIFG), покрывающий весь аэродром или его часть и не ухудшающий горизонтальную видимость. Радиационный туман иногда формируется в виде изолированных гряд, медленно перемещающихся в направлении слабого ветра.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Ночью гряды не заметны до тех пор, пока одна из них не окажется на месте прибора, измеряющего видимость, и прибор покажет при этом ухудшение видимости.

Фаза образования тумана, особенно радиационного, характеризуется значительными пространственными и временными изменениями горизонтальной видимости. Показания приборов видимости, установленных вдоль ВПП, могут сильно различаться.

Основная фаза тумана длится от момента его наибольшего распространения над аэродромом до начала рассеивания. В этой фазе туман представляет собой непрерывный, относительно однородный слой с незначительными изменениями видимости во времени.

Фаза ослабления тумана характеризуется его рассеиванием. Показания приборов видимости в этой фазе являются обычно репрезентативными для ВПП, т.е. правильно отражают условия видимости на ВПП. Следует отметить, что при рассеивании радиационный туман обычно поднимается над аэродромом и превращается в низкие разорванно-слоистые облака.

В холодный период года горизонтальная видимость на аэродромах часто ухудшается при снежных метелях. ***Снежная метель*** (BLSN) – перенос снега вдоль поверхности земли на высоту 2 м или более под действием ветра. ***Снежный поземок*** (DRSN), в отличие от метели, не ухудшает видимость, т.к. снег поднимается в воздух на высоту менее 2 м, но поземок может очень быстро перерасти в метель.

Атмосферные осадки (см. разд. 6) могут существенно ухудшать горизонтальную видимость, которая определяет их интенсивность. Осадки считаются сильными при видимости менее 1 км, умеренными – при видимости 1-2 км, слабыми, если видимость более 2 км. Сильные ливневые осадки – опасное погодное явление на аэродроме.

Дождь и морось чаще всего бывают слабыми, но они могут сопровождаться туманом. Твердые осадки в виде снега в большей степени рассеивают свет, чем капли воды, и поэтому часто приводят к ухудшению горизонтальной видимости до 2 км или менее. Зимой при выпадении снега нередко наблюдается метель.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Дайте определение горизонтальной видимости, используемой при метеорологическом обеспечении полетов ВС.
2. Охарактеризуйте факторы, определяющие горизонтальную видимость.
3. Что называют яркостью, собственной яркостью и видимой яркостью объекта?
4. Дайте определение порога контрастной чувствительности глаза.
5. Что называют собственным и видимым яркостным контрастом?
6. *Выведите формулу Кошмидера.
7. Дайте определение метеорологической дальности видимости.
8. От каких факторов зависит метеорологическая дальность видимости?
9. Что называется пороговой освещенностью?
10. Какие способы существуют для определения МДВ на аэродромах?
11. Дайте определение дальности видимости огня.
12. Какие способы существуют для определения дальности видимости огня на аэродроме?
13. Какой источник света называется точечным?
14. Дайте определение коэффициента прозрачности атмосферы.
15. Что называется показателем ослабления?
16. *Выведите формулу Алларда.
17. Дайте определение дальности видимости на ВПП.
18. Какие способы используются при определении RVR?
19. Какие факторы не учитываются при определении МДВ?
20. Какие факторы не учитываются при определении RVR?
21. *Охарактеризуйте принцип работы трансмиссометров и нефелометров.
22. *Каковы преимущества и недостатки базисного метода измерения МДВ?
23. В чем вы видите недостатки визуального способа определения МДВ?
24. *Каковы преимущества и недостатки нефелометрического метода измерения МДВ?
25. От каких факторов зависит наклонная дальность видимости?
26. Перечислите явления погоды, ухудшающие видимость до значений менее 1 км.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

27. Дайте определение мглы.

28. *Охарактеризуйте особенности влияния на полеты ВС песчаной и пыльной бурь.

29. Почему опасны для полетов пыльные и песчаные вихри?

30. Дайте определения тумана и дымки.

31. Как влияют на посадку ВС радиационные туманы?

32. Как влияют на полеты ВС адвективные туманы?

33. Какие физические процессы приводят к образованию фронтального тумана?

34. Охарактеризуйте физические процессы, приводящие к возникновению тумана испарения?

35. При каких физических условиях образуются морозные, антропогенные и орографические туманы?

36. Как влияет на посадку ВС поземный туман?

37. *Каким образом влияют разные фазы существования тумана на условия посадки и взлета ВС?

38. Дайте определение метели и поземка.

39. Какая взаимосвязь между интенсивностью осадков и горизонтальной видимостью?

40. *Дайте рекомендации пилоту ВС, осуществляющему посадку в условиях снежного поземка.

41. *Дайте рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в условиях атмосферных явлений, ухудшающих горизонтальную видимость.

42. *Дайте рекомендации органам УВД по обеспечению БП в условиях атмосферных явлений, ухудшающих горизонтальную видимость.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Зрительное восприятие черных объектов днем характеризуется…

а) их яркостью;

б) законом Кошмидера;

в) законом Алларда;

г) все ответы правильные.

2. При удалении от наблюдаемого объекта яркость его уменьшается из-за…

а) увеличения прозрачности атмосферы;

б) уменьшения показателя ослабления;

в) рассеяния и поглощения света в атмосфере;

г) все ответы правильные.

3. Отношение разности яркостей фона и объекта к яркости фона называется…

а) видимой яркостью;

б) разрешающей способностью глаза;

в) яркостным контрастом;

г) порогом контрастной чувствительности глаза.

4. Метеорологическая дальность видимости, измеряемая по прибору, зависит от…

а) порога контрастной чувствительности глаза;

б) разрешающей способности глаза;

в) прозрачности атмосферы;

г) все ответы правильные.

5. С помощью трансмиссометра измеряют…

а) коэффициент прозрачности атмосферы;

б) показатель ослабления;

в) рассеянный свет;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. Чем больше показатель ослабления, …

а) тем больше прозрачность атмосферы;

б) тем больше метеорологическая дальность видимости;

в) тем меньше горизонтальная видимость;

г) тем меньше порог контрастной чувствительности глаза.

7. Наименьшее значение различимого глазом яркостного контраста называется…

а) разрешающей способностью глаза;

б) собственным яркостным контрастом;

в) видимым яркостным контрастом;

г) порогом контрастной чувствительности глаза.

8. При измерении метеорологической дальности видимости на аэродроме порог контрастной чувствительности глаза считается равным…

а) 0,02;

б) 0,05;

в) 0,7;

г) все ответы правильные.

9. Расстояние, на котором освещенность огня равна пороговой освещенности, называется…

а) метеорологической дальностью видимости огня;

б) дальностью видимости на ВПП;

в) дальностью видимости огня;

г) все ответы правильные.

10. Оценка дальности видимости на ВПП не учитывает…

а) прозрачность атмосферы;

б) силу света огней;

в) направленность яркости фона, на котором наблюдаются огни;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

11. При мощном (высоком) тумане наклонная дальность видимости…

а) не отличается от дальности видимости на ВПП;

б) больше дальности видимости на ВПП;

в) меньше дальности видимости на ВПП;

г) все ответы правильные.

12. Маленькие капельки воды, взвешенные в воздухе и уменьшающие горизонтальную видимость до значений менее 1 км, называются…

а) атмосферными осадками;

б) туманом;

в) моросью;

г) все ответы правильные.

13. При перемещении теплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность образуется…

а) радиационный туман;

б) туман испарения;

в) морозный туман;

г) адвективный туман.

14. Туман, который формируется при взаимодействии двух различных воздушных масс, называется…

а) радиационным;

б) орографическим;

в) фронтальным;

г) все ответы правильные.

15. Радиационный туман образуется при …

а) ясном небе;

б) слабом ветре;

в) антициклонической погоде;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

16. Радиационный туман возникает чаще всего…

а) на закате солнца;

б) на рассвете.

в) днем;

г) над водной поверхностью.

17. При полете ВС под инверсией видимость ухудшается из-за…

а) дымки;

б) тумана;

в) дыма;

г) все ответы правильные.

18. При заходе ВС на посадку наклонная видимость больше дальности видимости на ВПП, если на аэродроме наблюдается…

а) мощный (высокий) туман;

б) тонкий (низкий) туман;

в) фронтальный туман;

г) все ответы правильные.

19. Туманы испарения образуются…

а) в неустойчивой воздушной массе;

б) в устойчивой воздушной массе;

в) летом;

г) все ответы правильные.

20. Горизонтальная видимость на аэродроме значительно изменяется в пространстве и во времени, если наблюдается…

а) фаза образования радиационного тумана;

б) основная фаза радиационного тумана;

в) фаза ослабления радиационного тумана;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

21. Горизонтальная видимость ухудшается до значений менее 1 км, если наблюдается…

а) метель;

б) поземок;

в) поземный туман;

г) все ответы правильные.

22. Явление понижения горизонтальной видимости взвешенными в атмосфере литометеорами, называется …

а) дымкой;

б) метелью;

в) пыльной бурей;

г) мглой.

23. Вращающиеся столбы воздуха высотой до нескольких десятком метров – это…

а) пыльная и песчаная буря;

б) пыльные и песчаные вихри;

в) мгла;

г) все ответы правильные.

24. В умеренных широтах туманы чаще всего наблюдаются при температуре воздуха…

а) от 10 до 20 °С;

б) от -5 до 5 °С;

в) от -10 до -20 °С;

г) от -20 до -30 °С.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 8

СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ

8.1. Синоптические объекты

В настоящее время одним из основных методов анализа и прогноза погоды в авиации является синоптический метод. В основе этого метода – изучение синоптических процессов с помощью карт погоды. **Синоптические процессы** – это возникновение, перемещение и эволюция синоптических объектов, к которым относятся воздушные массы, атмосферные фронты, барические системы, струйные течения.

Синоптические процессы являются причиной формирования погоды на больших территориях. Карты погоды могут охватывать различные территории – от полушария до небольшого района. При метеорологическом обеспечении авиации используются приземные и высотные, текущие (фактические) и прогностические карты погоды. Синоптик, консультируя пилотов перед вылетом или диспетчеров УВД, заступающих на дежурство, дает характеристику синоптических процессов (синоптической ситуации), определяющих метеорологические условия полетов.

Авиационные специалисты должны иметь представление о пространственных и временных масштабах синоптических и других атмосферных процессов, которые изучаются в курсе авиационной метеорологии (табл. 8.1).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Таблица 8.1

Масштабы атмосферных процессов

Масштаб атмосферного процесса	Размер, км	Время жизни
Макромасштаб (планетарный)	≥ 1000	10-1 суток
Синоптический масштаб	1000-100	30-3 ч
Мезомасштаб	100-10	180-20 мин
Микромасштаб	< 10	< 20 мин

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.2. Общая циркуляция атмосферы

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) – совокупность воздушных макромасштабных течений, охватывающих большие географические районы. ОЦА является результатом взаимодействия трех основных факторов: радиационного, вращения Земли и неоднородности подстилающей поверхности.

Радиационный фактор связан с неравномерным притоком солнечной энергии на разных широтах и в разное время года. Неравномерный приток тепла является причиной неодинакового нагревания воздуха, что вызывает неравномерность в распределении атмосферного давления и возникновение силы горизонтального барического градиента.

Вращение Земли приводит к появлению силы Кориолиса. Если бы Земля не вращалась и ее поверхность была бы однородна, то схема ОЦА была бы проста. Наиболее теплыми оказались бы нижние слои атмосферы у экватора, а наиболее холодными – у полюсов. У поверхности Земли воздух перемещался бы от полюса к экватору, а в верхних слоях атмосферы – в обратном направлении.

Неоднородность подстилающей поверхности (суша, океан, горы, равнины) является причиной ее неравномерного прогревания, а значит и возникновения горизонтального градиента температуры воздуха. В результате возникают воздушные течения (см. разд. 4).

Закономерностью ОЦА является то, что скорость движения воздуха по горизонтали примерно на два порядка больше, чем по вертикали. При этом преобладают зональные (вдоль широтных кругов) воздушные течения над меридиональными (вдоль меридианов) воздушными течениями. Крупномасштабные атмосферные процессы имеют вихревой характер. На средних многолетних картах распределения атмосферного давления на уровне моря можно увидеть, что над некоторыми районами земного шара находятся циклоны или антициклоны. Области, в которых в течение года или сезона преобладает повышенное или пониженное давление, называются центрами действия атмосферы. Известны алеутская и исландская депрессии, азорский, гонолульский и сибирский антициклоны. Центры действия атмосферы определяют элементы ОЦА, которые

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

играют важную роль в формировании климата на Земле. К элементам ОЦА относятся пассаты, муссоны и циклоническая деятельность.

Пассаты – постоянные ветры, которые возникают как результат существования субтропических антициклонов и экваториальной барической ложбины. Пассаты в северном полушарии направлены с северо-востока, в южном полушарии – с юго-востока по периферии субтропических антициклонов. Скорость пассатных ветров у земной поверхности составляет в среднем 5-6 м/с. Для области пассатов характерно оседание воздуха и наличие пассатной инверсии на высотах 1-3 км. Пассаты охватывают тропосферу до высоты 6-10 км. Вертикальная мощность пассатов увеличивается к экватору. Западные ветры над пассатами называются антипассатами. В области пассатных ветров погодные условия благоприятны для полетов ВС.

Муссоны – сезонные ветра, дважды в год меняющие свое преобладающее направление на противоположное. Над сушей зимой устанавливается высокое давление, а летом – низкое. Летние муссоны направлены с океана на сушу, а зимние муссоны – с суши на океан. В период летних муссонов часто наблюдаются неблагоприятные погодные условия для полетов ВС, что связано с интенсивным образованием конвективных облаков и выпадением обильных дождей. Классическим примером тропического муссона в бассейне Индийского океана является Индийский муссон.

Особенностью тропической зоны являются тропические циклоны (ТС), имеющие диаметр, в среднем, 200-400 км. Давление воздуха в центре ТС может быть от 877 до 950 гПа. Скорость приземного ветра может достигать 50-100 м/с и более. В северном полушарии тропические циклоны возникают в районах от 5 до 20° с. ш. над океанами при температуре воздуха 27 °С и выше. При конденсации водяного пара в атмосфере выделяется огромное количество тепла, что приводит к резкому падению атмосферного давления в центре циклона и возникновению сильного ветра. Тропические циклоны в стадии тропического шторма, когда скорость приземного ветра 63 км/ч или более, представляют большую опасность для полетов ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Циклоническая деятельность – это возникновение, перемещение и развитие циклонов и антициклонов. Она особенно ярко проявляется во внетропических широтах. Благодаря циклонической деятельности осуществляется междуширотный обмен воздуха. Внетропические циклоны и антициклоны перемещаются в основном с запада на восток.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.3. Воздушные массы

8.3.1. Характеристики воздушной массы

Воздушная масса (ВМ) представляет собой большой объем воздуха, соизмеримый с крупными частями материков и океанов. Она обладает относительно однородными свойствами и перемещается в одном из течений ОЦА. Горизонтальные размеры воздушных масс – тысячи километров, вертикальные размеры – несколько километров. Часто воздушные массы прослеживаются вплоть до тропопаузы.

Воздушные массы обладают относительно однородными характеристиками погодных условий: температурой, влажностью, прозрачностью воздуха, облачностью, атмосферными явлениями. Абсолютно однородных воздушных масс не существует, поскольку неоднородна подстилающая поверхность, а также различен приток солнечной радиации в северных и южных частях воздушной массы. Горизонтальный градиент температуры воздуха в приземном слое в пределах воздушной массы составляет в среднем 6 °С на 1000 км.

Очаг формирования воздушной массы – это географический район, в котором воздушная масса формируется. Трансформация воздушной массы – изменение ее свойств, когда она движется на другую подстилающую поверхность, в другие условия притока солнечной радиации.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.3.2. Географическая классификация воздушных масс

В зависимости от географического положения очага формирования различают арктическую, умеренную и тропическую воздушные массы в северном полушарии. Каждая из этих воздушных масс может быть континентальной и морской.

Морская арктическая ВМ формируется над акваторией Северного Ледовитого океана, свободной ото льдов. На европейскую часть России она поступает через Норвежское и Баренцево моря. ***Континентальная арктическая*** ВМ формируется над покрытой льдом акваторией Северного Ледовитого океана. На европейскую часть России она поступает со стороны Карского моря и моря Лаптевых.

Континентальная умеренная ВМ формируется над сушей умеренных широт. ***Морская умеренная*** ВМ формируется над акваториями океанов в умеренных широтах. В Европу она приходит из Северной Атлантики.

Континентальная тропическая ВМ формируется над континентальными районами тропиков и субтропиков. В Европу она поступает из Средней Азии. ***Морская тропическая*** ВМ формируется в области азорского субтропического антициклона. На европейскую часть России она приходит со стороны Средиземного моря. Свойства воздушных масс зависят от очага их формирования.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.3.3. Термодинамическая классификация воздушных масс

Термодинамическая классификация ВМ основана на учете изменения температуры воздуха по горизонтали и вертикали. В зависимости от изменения температуры по горизонтали выделяют нейтральную, теплую и холодную воздушные массы. ВМ в очаге своего формирования является нейтральной. ***Нейтральная*** (***местная)*** ВМ долгое время в данном районе сохраняет свои свойства.

Теплая ВМ перемещается на холодную подстилающую поверхность и поэтому в нижних слоях охлаждается. ***Холодная*** ВМ перемещается на теплую подстилающую поверхность и поэтому в нижних слоях происходит ее нагревание.

В зависимости от изменения температуры воздуха по вертикали различают устойчивую и неустойчивую воздушные массы. В *устойчивой* воздушной массе вертикальный градиент температуры воздуха меньше адиабатического градиента. В ней наблюдаются задерживающие слои, инверсия, изотермия; отсутствуют условия для развития конвекции; могут возникать туманы, дымки, слоистая облачность. *Теплая устойчивая* ВМ часто наблюдается над сушей зимой в теплом секторе циклона или в тыловой части антициклона.

В *неустойчивой* воздушной массе вертикальный градиент температуры воздуха больше адиабатического градиента. В этой ВМ развивается конвективная облачность (Cu, Cb), наблюдаются ливни, грозы, шквалы, сильный порывистый ветер. *Холодная неустойчивая* воздушная масса наблюдается чаще всего над сушей летом в послеполуденные часы в тыловой части циклона или в передней части антициклона. Холодная ВМ является, как правило, неустойчивой, а теплая – устойчивой воздушной массой.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4. Атмосферные фронты

8.4.1. Понятие атмосферного фронта

Атмосферный фронт (АФ) – это переходная зона между соседними воздушными массами в атмосфере. Фронт называют фронтальной зоной, фронтальным слоем, фронтальным разделом, фронтальной поверхностью. Ширина атмосферного фронта вблизи поверхности земли изменяется от 5 до 100 км, составляя в среднем 50 км. В свободной атмосфере ширина фронтальной зоны, которая называется высотной фронтальной зоной, достигает нескольких сотен километров.

На синоптических картах атмосферные фронты изображают линиями. Фронт на карте погоды – это линия пересечения фронтальной поверхности с поверхностью земли. Длина линии фронта составляет тысячи километров. Толщина зоны фронта по вертикали в нижней тропосфере составляет 200-300 метров, а в верхней тропосфере – примерно 1 км. Фронтальный раздел представляет собой задерживающий слой.

Фронты располагаются под небольшим углом к горизонтальной плоскости вследствие динамических причин, связанных с движением разделяемых фронтом воздушных масс, а также из-за действия силы Кориолиса. Тангенс угла наклона фронтов наиболее часто равен 0,003-0,02. Угол наклона холодных фронтов больше, чем теплых. Фронт всегда наклонен в сторону холодной воздушной массы, т.к. давление воздуха в теплом воздухе с высотой падает медленнее, чем в холодном.

Если контраст температуры между воздушными массами и движение воздуха отсутствуют, то существование фронта невозможно (фронта нет). С увеличением широты места увеличивается угол наклона фронта при прочих равных условиях. На экваторе, где параметр Кориолиса равен 0, наклонное положение фронта невозможно. Чем больше контраст температуры воздуха в зоне фронта, тем больше различаются скорости ветра вблизи фронта в теплой и

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

холодной воздушных массах и тем больше угол наклона фронта. Чем быстрее смещается фронтальная поверхность, тем круче она расположена.

Если фронт стационарен, то барические тенденции мало отличаются по обе стороны от фронта. Это наблюдается часто на периферии циклонов и антициклонов. Перед теплым фронтом давление воздуха, как правило, значительно падает со временем, а за холодным фронтом – растет. Падение и рост атмосферного давления можно обнаружить по величинам барической тенденции на приземной карте погоды.

Фронтальная поверхность всегда располагается в барической ложбине. Изобарические поверхности в зоне фронта имеют изгиб в сторону высокого давления. Поэтому перед надвигающимся фронтом давление воздуха всегда понижается. Чем глубже барическая ложбина, в которой находится фронт, тем меньше скорость движения фронта. Если на приземной карте погоды изобары пересекают фронт почти перпендикулярно, то фронт движется быстро.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4.2. Классификация атмосферных фронтов

Атмосферные фронты классифицируются в зависимости от их вертикальной протяженности, строения, направления и скорости перемещения, географического происхождения воздушных масс, разделенных фронтом.

Теплый фронт – передний край перемещающейся теплой воздушной массы. На картах погоды он изображается красной линией или черной линией с полукругами. Средняя скорость движения теплых фронтов – 20-30 км/ч (рис. 8.1).

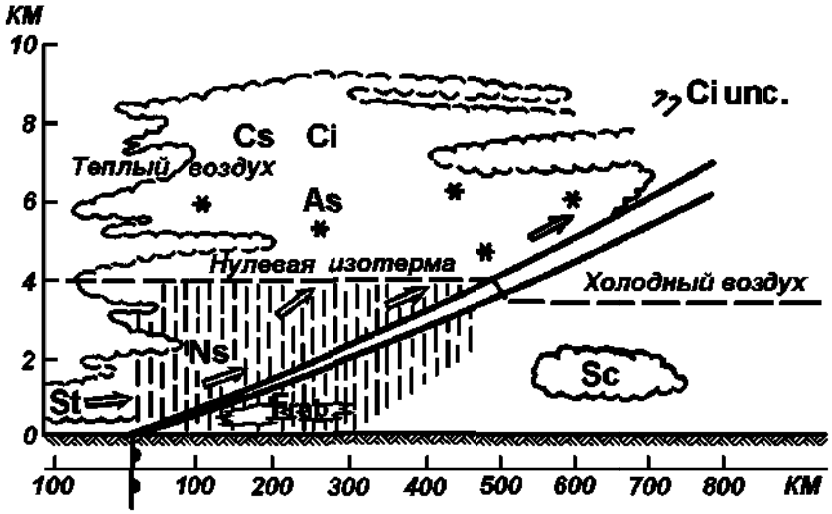


Рис. 8.1. Вертикальный разрез теплого фронта

Холодный фронт – передний край перемещающейся холодной воздушной массы. На картах погоды он изображается синей линией или черной линией с треугольниками. В зависимости от скорости движения и характерной облачности различают холодный фронт первого рода (рис. 8.2) и холодный фронт второго рода (рис. 8.3). Средняя скорость движения холодного фронта первого рода – 30-40 км/ч, а второго рода – 50-60 км/ч. Для холодного фронта второго рода характерна узкая полоса кучево-дождевой облачности, при размывании которой могут наблюдаться все формы облаков, кроме St и Cu.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

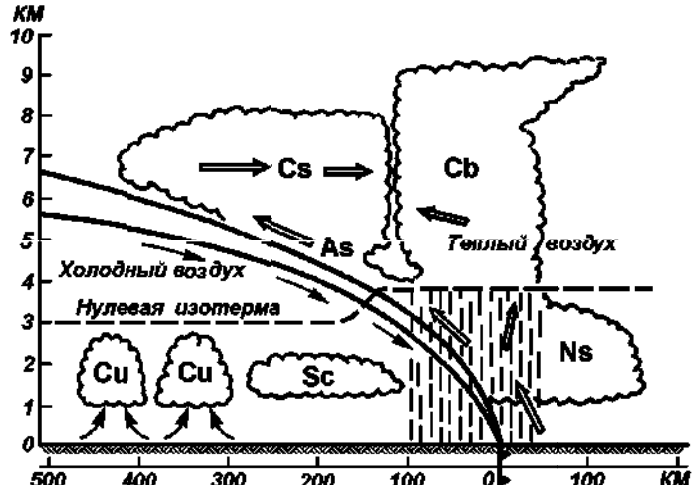


Рис. 8.2. Вертикальный разрез холодного фронта первого рода

Профиль теплого фронта отличается от профиля холодного фронта, т.к. перемещающийся теплый воздух натекает на холодный воздух в зоне теплого фронта, а в зоне холодного фронта холодный воздух подтекает под теплый воздух.

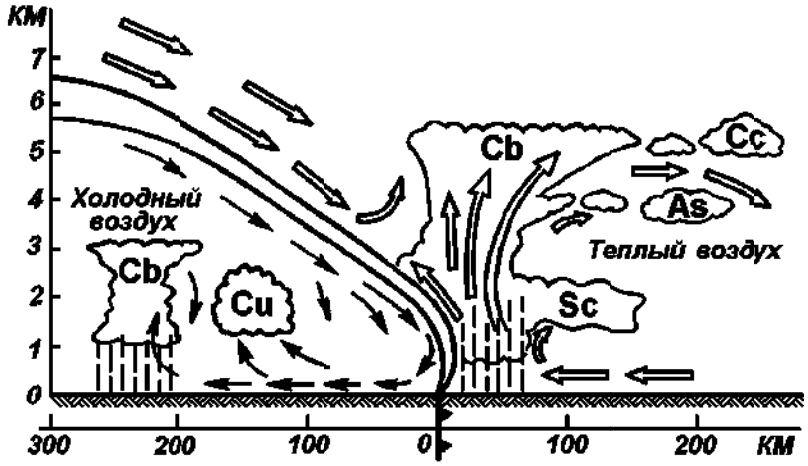


Рис. 8.3. Вертикальный разрез холодного фронта второго рода

Стационарный (малоподвижный) фронт разделяет воздушные массы, которые движутся почти параллельно линии фронта. Средняя скорость стационарного фронта 10 км/ч. На картах погоды этот фронт обозначается двойной красно-синей линией или черной линией, по одну сторону от которой находятся треугольники, а по другую сторону – полукруги. На картах погоды этот фронт отмечается двойной красно-синей или черной линией.

Фронт окклюзии – это сложный фронт, который образуется путем смыкания холодного и теплого фронтов. Холодный фронт догоняет теплый фронт и

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

смыкается с ним. На картах погоды фронт окклюзии обозначается коричневой линией или черной линией с треугольниками и полукругами, находящимися по одну сторону от неё.

В зависимости от распространения атмосферного фронта по вертикали различают тропосферные и приземные фронты. *Тропосферный фронт* прослеживается от приземного слоя вплоть до тропопаузы. На карте относительной топографии $ОТ_{1000}^{500}$ этому фронту соответствует фронтальная зона в виде сгущения изотерм (изогипс относительной топографии). *Приземные фронты* существуют вблизи поверхности земли и не обнаруживаются на высоте. Иногда приземные фронты можно проследить на высоте поверхности 850 гПа.

Вторичные фронты – это приземные фронты, которые образуются в тыловой части циклона и разделяют различные порции холодной воздушной массы. В нижних слоях атмосферы в зоне вторичных фронтов, как и в случае других атмосферных фронтов, наблюдается сходимость воздушных потоков. На картах погоды вторичные фронты обозначаются прерывистой синей линией или черной линией с незаштрихованными треугольниками.

В зависимости от географического происхождения воздушных масс, разделяемых фронтом, различают арктический и умеренный фронты. *Арктический фронт* разделяет арктическую и умеренную воздушные массы. *Умеренный фронт* разделяет умеренную и тропическую воздушные массы. Название фронтам дается по названию холодной воздушной массы, которую они отделяют от теплой воздушной массы. По названию фронта можно судить о свойствах воздушных масс, разделяемых фронтом.

На атмосферном фронте скачкообразно изменяются: температура, плотность, влажность, запыленность, прозрачность воздуха, ветер (направление и скорость), барический градиент (горизонтальный и вертикальный), барическая тенденция. В теоретическом плане фронтальную зону рассматривают как поверхность разрыва этих величин. Давление воздуха на фронте не изменяется скачкообразно.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4.3. Перемещение и эволюция атмосферных фронтов

Условия погоды в зоне фронта, влияющие на полеты ВС, зависят от характера фронта, его эволюции и перемещения. При анализе перемещения атмосферных фронтов используется правило ведущего потока. Считается, что каждая точка приземного фронта перемещается вдоль проходящей над ней изогипсы АТ-700 гПа со скоростью, пропорциональной фактической скорости ветра на этой изобарической поверхности. Коэффициент пропорциональности равен 0,7 для теплых фронтов и 0,8 для холодных фронтов.

При прогнозировании направления и скорости перемещения атмосферных фронтов используется метод экстраполяции. Этот метод заключается в определении положения, направления и скорости перемещения атмосферного фронта по двум последовательным приземным картам погоды и в экстраполяции полученных результатов на ближайшие 6 ч.

Процессы обострения и размывания фронта характеризуют его эволюцию. *Обострение атмосферного фронта* (*фронтогенез*) – это сужение переходной зоны между воздушными массами и увеличение горизонтальных градиентов температуры воздуха в этой зоне. *Размывание атмосферного фронта* (*фронтолиз*) – расширение переходной зоны между воздушными массами и уменьшение горизонтальных градиентов температуры воздуха в ней.

Обострение фронта приводит к увеличению следующих его характеристик: контраста температуры воздуха в зоне фронта, угла наклона фронта, скорости вертикальных движений воздуха, мощности облачной системы и интенсивности осадков. При размывании фронта все эти характеристики уменьшаются. Фронтогенез приводит к ухудшению погодных условий, а фронтолиз – к их улучшению.

Характер суточной эволюции атмосферных фронтов над сушей и над морем прямо противоположный. Над сушей ночью теплые фронты обостряются, холодные – размываются, а днем наоборот. Над морем ночью теплые фронты размываются, холодные фронты обостряются, а днем наоборот. Это объясняется тем, что днем поверхность суши теплее поверхности моря, а ночью наоборот.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Над сушей теплые фронты более выражены в холодный период года (октябрь-март), чем в теплый (апрель-сентябрь). Обострение теплого фронта над сушей происходит, как правило, ночью или утром. Холодные фронты над сушей более выражены в теплый период, чем в холодный. В течение суток наибольшую активность эти фронты проявляют в послеполуденные часы, когда наблюдается наибольший прогрев подстилающей поверхности.

Основная система фронтальных облаков формируется в теплой воздушной массе над фронтальной поверхностью. Мощность и форма облаков в зоне фронта зависят от температуры, влажности и термодинамического состояния теплой воздушной массы, взаимодействующей на фронте с холодной воздушной массой.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4.4. Высотная фронтальная зона

Высотная фронтальная зона (ВФЗ) – это переходная зона между высоким холодным циклоном и высоким теплым антициклоном в свободной атмосфере. Длина ВФЗ по горизонтали – тысячи километров, ширина – сотни километров, вертикальная мощность – несколько километров.

На картах барической топографии ВФЗ представляет собой область значительного сгущения изогипс. Центральная изогипса этой области называется осевой или осью ВФЗ. ВФЗ характеризуется большими горизонтальными градиентами давления и температуры воздуха. Наибольшие горизонтальные градиенты температуры в свободной атмосфере наблюдаются вблизи осевой изогипсы на карте АТ-500 гПа.

Ветровой характеристикой ВФЗ является струйное течение. **Струйное течение** (СТ) – это сильный узкий поток с почти горизонтальной осью в верхней тропосфере и нижней стратосфере, характеризующийся большими вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра и одним или более максимумами скорости. Наименьшая скорость ветра в струйном течении – 30 м/с. Ось струйного течения соединяет точки с максимальной скоростью ветра и располагается чаще всего вблизи поверхности 300 гПа под тропопаузой.

Циклоническая сторона ВФЗ находится слева от оси ВФЗ и обращена в сторону низкого давления. Антициклоническая сторона ВФЗ находится справа от оси ВФЗ и обращена в сторону высокого давления. Осевая изогипса является границей раздела между циклонической и антициклонической сторонами ВФЗ.

Вход ВФЗ – часть ВФЗ, где наблюдается сходимость воздушных потоков (сходимость изогипс на картах барической топографии). **Дельта ВФЗ** – часть ВФЗ, где наблюдается расходимость воздушных потоков (расходимость изогипс на картах барической топографии). В областях входа и дельты ВФЗ может наблюдаться сильная турбулентность и болтанка ВС (см. разд. 9.3).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4.5. Условия погоды вблизи теплых фронтов

Метеорологические условия в зоне теплого фронта определяются системой облаков и выпадающих из них осадков. Для теплого фронта (см. рис. 8.1) типична слоистообразная облачность (Cs – As – Ns), но иногда может наблюдаться и замаскированная кучево-дождевая облачность (Cb).

Система слоистообразных облаков располагается над поверхностью фронта в теплом воздухе впереди приземной линии теплого фронта. В ширину (перпендикулярно фронту) эта система облаков простирается на несколько сотен километров. Зона осадков, выпадающих из этих облаков, имеет меньшую ширину. Зимой ширина облачности и осадков больше, чем летом. Под фронтальной поверхностью в холодном воздухе, где наблюдается выпадение обложных осадков, отмечаются низкие разорванно-дождевые облака (Frnb – fractonimbus), высота нижней границы которых, как правило, ниже 200 м.

При приближении теплого фронта к аэродрому появляются Ci unc.– предвестники теплого фронта. Затем наблюдаются Cs, охватывающие в виде легкой белой вуали весь небосвод. Особенностью этих облаков является оптическое явление гало – белые или разноцветные круги вокруг солнца, которые обусловлены преломлением и отражением света в ледяных кристаллах облаков. Далее на небе появляются As. Солнце и Луна просвечивают сквозь них, как сквозь матовое стекло. Постепенно нижняя граница облачности опускается, мощность облаков увеличивается, отмечаются Ns. Из них выпадают обложные осадки. Солнце и Луна не видны. Из As осадки выпадают только в холодный период, а в теплый период осадки испаряются, не достигая поверхности земли.

Зона обложных осадков располагается впереди приземной линии фронта в клине холодного воздуха. Если в этом клине влажность воздуха достигает больших величин, то наблюдаются не только низкие разорванно-дождевые облака, но и фронтальный туман. При выпадении переохлажденного дождя (FZRA) или переохлажденной мороси (FZDZ) на аэродроме отмечается очень опасный вид наземного обледенения – гололед. При температурах воздуха от 0 до -20 °С в слоистообразной облачности почти всегда наблюдается обледенение ВС различной интенсивности.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

В теплый период года на теплых фронтах могут возникать Cb с ливнями, градом, грозами, с которыми связаны сильные сдвиги ветра, сильная турбулентность и обледенение ВС. Облака вертикального развития вблизи теплых фронтов наблюдаются чаще всего ночью и утром, когда происходит обострение теплых фронтов. Образование конвективной облачности обусловлено высоким влагосодержанием теплой воздушной массы и радиационным выхолаживанием верхнего слоя массива слоистообразных облаков в ночное время. Кучево-дождевая облачность на теплом фронте является *замаскированной* (EMBD Cb) и потому особенно опасна для авиации.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4.6. Условия погоды вблизи холодных фронтов

Система облаков холодного фронта первого рода существенно отличается от облачности холодного фронта второго рода. За линией холодного фронта первого рода наблюдается слоистообразная облачность и зона осадков (см. рис. 8.2). Облака этого фронта подобны облакам теплого фронта, но расположены в обратном порядке: Ns – As – Cs. Ширина облачной системы в направлении, перпендикулярном к холодному фронту, меньше, чем в случае теплого фронта. В зоне осадков на холодном фронте первого рода наблюдаются низкие Frnb, осложняющие полеты ВС на малых высотах. В теплый период на холодном фронте первого рода часто формируются фронтальные Cb с ливнями, грозами, шквалами. Ливневые осадки выпадают обычно перед линией фронта, а после его прохождения наблюдаются обложные осадки.

Холодный фронт второго рода является самым опасным для авиации из всех видов атмосферных фронтов (см. рис. 8.3). Типичной для этого фронта является кучево-дождевая облачность. Cb формируются перед приземной линией фронта, ширина облачности в среднем – 50-100 км. Такую же ширину имеет зона ливневых осадков. Образование кучево-дождевых облаков в зоне холодного фронта второго рода происходит вследствие вынужденной конвекции – сильных восходящих потоков теплого воздуха перед линией фронта. Верхняя часть кучево-дождевых облаков в виде наковальни, состоящей из Cs, вытягивается по направлению движения фронта.

Особенностью холодного фронта второго рода является наличие нисходящего движения теплого воздуха на высоте 1,5-2 км за линией фронта. Это движение приводит к адиабатическому нагреванию воздуха. В результате за фронтом облачность размывается, наблюдается прояснение. Предвестниками холодного фронта второго рода являются As lent., которые появляются впереди линии фронта на расстоянии 100-200 км. Прохождение холодного фронта второго рода сопровождается сильными ливнями, шквалами, грозами, градом, иногда смерчем, пыльными или песчаными бурями.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

С прохождением любого холодного фронта через район аэродрома всегда связано усиление приземного ветра и понижение температуры воздуха. Линии шквалов могут располагаться впереди холодного фронта, совпадать с линией фронта или находиться позади линии фронта. На барограмме при прохождении линии шквалов наблюдается повышение давления – грозовой нос. **Барограмма** – это лента барографа с записью колебаний атмосферного давления. Особенно опасными для полетов ВС холодные фронты бывают летом в послеполуденные часы, когда наблюдается максимальный прогрев подстилающей поверхности.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.4.7. Условия погоды вблизи фронтов окклюзии

Фронт окклюзии образуется при смыкании теплого и холодного фронтов. ***Теплый фронт окклюзии*** – фронт окклюзии, у которого тыловой холодный воздух теплее переднего холодного воздуха. Тыловой холодный воздух – это воздух за холодным фронтом. Передний холодный воздух – это воздух перед теплым фронтом. ***Холодный фронт окклюзии*** – фронт окклюзии, у которого тыловой холодный воздух холоднее переднего холодного воздуха.

Теплый фронт окклюзии над сушей чаще наблюдается зимой, чем летом. Холодный фронт окклюзии над сушей чаще наблюдается летом, чем зимой. В среднем за год холодные фронты окклюзии отмечаются чаще, чем теплые фронты окклюзии.

В каждом фронте окклюзии различают нижний фронт и верхний фронт. Нижний фронт – линия пересечения одной из фронтальных поверхностей с поверхностью земли. В случае теплого фронта окклюзии нижним фронтом является линия пересечения теплого фронта с поверхностью земли. В случае холодного фронта окклюзии нижний фронт окклюзии – это линия пересечения холодного фронта с поверхностью земли. Верхний фронт – это линия, где смыкаются три воздушные массы: тыловой холодный воздух, передний холодный воздух и теплый воздух, который не соприкасается с поверхностью земли.

Поверхность окклюзии – это поверхность раздела тылового холодного воздуха и переднего холодного воздуха. В случае теплого фронта окклюзии поверхностью окклюзии является участок теплого фронта, а в случае холодного фронта окклюзии поверхность окклюзии – это участок холодного фронта.

Облачность и осадки фронта окклюзии являются результатом объединения облачных систем и осадков теплого и холодного фронтов. Чем старее фронт окклюзии, тем большую толщину имеют безоблачные прослойки, тем менее он опасен для полетов ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.5. Циклоны и антициклоны

8.5.1. Возникновение циклонов и антициклонов

Большинство циклонов и антициклонов возникает на малоподвижных фронтах, на которых могут образовываться волны. Один участок стационарного фронта начинает двигаться в сторону холодного воздуха и возникает теплый фронт, другой участок этого фронта начинает двигаться в сторону теплого воздуха и возникает холодный фронт. Развивающиеся, незатухающие волны на фронте называются неустойчивыми. Если длина волны на фронте больше 1000 км, то волна становится неустойчивой. В передней части волны при адвекции тепла наблюдается падение давления воздуха, и формируется циклон. В тыловой части волны при адвекции холода давление воздуха растет, и здесь возникает антициклон.

В зависимости от высоты, до которой развиваются циклоны и антициклоны, они могут быть низкими, средними и высокими. Низкие барические системы прослеживаются до высоты 3 км, средние – до высоты 5 км, высокие – до высоты 7 км и выше. Высотные циклоны и антициклоны, в отличие от высоких, у поверхности земли не наблюдаются, а прослеживаются только в свободной атмосфере.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.5.2. Стадии развития циклона

Внетропический циклон проходит четыре стадии развития. *Первая стадия циклона* называется стадией волны, а циклон в этой стадии называется волновым. Стадия волны длится от первых признаков искривления атмосферного фронта до появления первой замкнутой изобары, кратной 5 гПа. Волновой циклон является низким барическим образованием и перемещается вдоль линии стационарного фронта так, что холодный воздух находится слева, а теплый – справа.

Вторая стадия – стадия молодого циклона. Она длится от возникновения первой замкнутой изобары до появления фронта окклюзии. В молодом циклоне можно выделить четыре части: центральную, переднюю, тыловую и теплый сектор. Центральная часть циклона находится в пределах ближайшей к центру замкнутой изобары; передняя часть циклона – перед теплым фронтом; тыловая часть циклона – за холодным фронтом; теплый сектор циклона – между теплым и холодным фронтами. Молодой циклон углубляется и является средним барическим образованием. Углубление циклона проявляется в понижении давления воздуха со временем в его центре.

Третья стадия – стадия максимального развития циклона. Она длится от начала окклюдирования циклона (от момента появления фронта окклюзии в циклоне) до начала заполнения циклона, т.е. до начала роста давления воздуха в центре циклона. В этой стадии наблюдается минимальное давление в центре циклона. На приземной карте погоды появляются точка окклюзии и фронт окклюзии. В точке окклюзии смыкаются три фронта: теплый, холодный и фронт окклюзии. Максимально развитый циклон является высоким. Он смещается медленнее, чем молодой циклон, и характеризуется наибольшей площадью облачности и осадков.

Четвертая стадия – стадия заполняющегося циклона – длится от начала заполнения циклона до исчезновения замкнутых изобар (исчезновения циклона). В этой стадии циклон заполняется – давление в его центре растет. Заполняющийся циклон является холодным, малоподвижным, высоким барическим образовани-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ем. Облака размываются, осадки прекращаются. Эта стадия циклона – самая продолжительная из всех стадий – может длиться несколько суток. В этой стадии может начаться регенерация циклона – возрождение заполняющегося циклона при приближении к нему нового атмосферного фронта.

На приземных картах погоды для северного полушария наблюдаются циклонические серии – все стадии развития циклонов одновременно. Циклоническую серию часто можно видеть над Атлантическим океаном, когда умеренный фронт вытягивается с юго-запада на северо-восток – от побережья Америки до Великобритании. Каждый новый циклон серии находится южнее своего предшественника, т.к. атмосферный фронт при своем движении постепенно опускается к югу. За последним циклоном серии формируется мощный заключительный антициклон.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.5.3. Стадии развития антициклона

Антициклоны могут формироваться и в холодной воздушной массе, и в теплой. В своем развитии они проходят три стадии. *Первая стадия* – стадия молодого антициклона. Молодой антициклон является низким и подвижным антициклоном. Он усиливается, т.е. давление воздуха в центре антициклона со временем растет, перемещается с той же скоростью, что и находящийся впереди него циклон. В молодом антициклоне преобладает ясная или малооблачная погода, благоприятная для полетов ВС.

Вторая стадия – стадия максимального развития антициклона. В этой стадии антициклон является высоким, отмечается максимальное давление в его центре. Диаметр максимально развитого антициклона достигает нескольких тысяч километров. В центре антициклона наблюдается приземная (радиационная) и высотная (сжатая) инверсии. В антициклоне преобладает ясная, тихая погода, но могут наблюдаться дымка, туман, слоистая облачность. Максимально развитый антициклон перемещается медленнее, чем молодой антициклон.

Третья стадия – стадия разрушающегося антициклона. Антициклон разрушается, т.к. повсеместно в антициклоне происходит падение атмосферного давления со временем. Антициклон является высоким, теплым и малоподвижным. В разрушающемся антициклоне наблюдается развитие облачности. Продолжительность существования этого антициклона – до нескольких недель и даже месяцев. Очень устойчивы и продолжительны зимние холодные антициклоны над Сибирью и Монголией.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

8.5.4. Перемещение циклонов и антициклонов

Молодой циклон с круговыми изобарами перемещается в направлении изобар его теплого сектора. Изобары теплого сектора на приземной карте погоды направлены так, что теплый воздух находится справа, а холодный – слева. Это направление соответствует направлению ведущего потока на высотах, т.к. над теплым сектором направление ветра с увеличением высоты не изменяется (см. разд. 4).

Согласно правилу изаллобарической пары, циклон движется в сторону очага падения атмосферного давления в направлении линии, соединяющей очаги падения и роста давления соответственно в передней и тыловой частях циклона. Антициклон перемещается в направлении очага роста давления воздуха параллельно линии, соединяющей очаги роста и падения давления воздуха в его передней и тыловой частях.

Наличие хорошо выраженных очагов роста и падения атмосферного давления в противоположных частях циклонов и антициклонов говорит о подвижности этих барических систем.

Высокие циклоны и антициклоны, развитые до высоты изобарической поверхности 300 гПа и выше, малоподвижны. Чем меньше развиты циклоны и антициклоны по высоте, тем они подвижнее.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Что понимают под общей циркуляцией атмосферы?
2. Назовите причины возникновения общей циркуляции атмосферы.
3. Назовите основные закономерности общей циркуляции атмосферы.
4. Какие элементы общей циркуляции атмосферы вы знаете?
5. Что вы знаете об особенностях общей циркуляции атмосферы в тропической зоне?
6. Что понимают под циклонической деятельностью внетропических широт?
7. Какие синоптические объекты вы знаете?
8. Дайте определение воздушной массы, каковы ее горизонтальные и вертикальные размеры?
9. Почему воздушная масса не является абсолютно однородной?
10. Что понимают под очагом формирования воздушной массы и ее трансформацией?
11. Какие воздушные массы выделяют согласно их географической классификации?
12. Где находятся очаги формирования морской и континентальной арктических воздушных масс?
13. Где находятся очаги формирования морской и континентальной умеренных воздушных масс?
14. Где находятся очаги формирования морской и континентальной тропических воздушных масс?
15. Какие признаки лежат в основе термодинамической классификации воздушных масс?
16. Дайте определение нейтральной, теплой и холодной воздушных масс.
17. В чем различие между устойчивой и неустойчивой воздушными массами?
18. Охарактеризуйте погоду в теплой устойчивой воздушной массе зимой и в холодной неустойчивой воздушной массе летом.
19. Почему холодная воздушная масса чаще всего является неустойчивой, а теплая воздушная масса – устойчивой?
20. *Охарактеризуйте влияние внутримассовых процессов на полеты ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

21. *Зачем пилоту и диспетчеру УВД нужна информация о синоптических процессах в атмосфере?

22. Что представляет собой атмосферный фронт?

23. Каковы пространственные размеры фронта?

24. Как изображают фронты на картах погоды?

25. Чему равен угол наклона фронтов и от чего он зависит?

26. Назовите признаки, лежащие в основе классификации фронтов.

27. Дайте определение теплого фронта. Какова средняя скорость его перемещения?

28. Дайте определение холодного фронта. Какова средняя скорость перемещения холодного фронта первого рода и холодного фронта второго рода?

29. Нарисуйте профили теплого и холодного фронтов.

30. Дайте определение стационарного фронта.

31. Какие фронты окклюзии вы знаете?

32. Какие фронты называются приземными и вторичными?

33. Что вы знаете об арктическом и умеренном фронтах?

34. Почему фронтальная поверхность всегда наклонена в сторону холодной воздушной массы?

35. Какие метеорологические величины скачкообразно изменяются на атмосферных фронтах?

36. При каких условиях существование фронта невозможно?

37. Охарактеризуйте методы прогноза направления и скорости перемещения фронтов.

38. Что понимают под размыванием и обострением фронтов?

39. Какая связь существует между высотной фронтальной зоной и струйными течениями?

40. Что называют струйным течением?

41. Какое опасное для авиации атмосферное явление может наблюдаться в областях входа и дельты высотной фронтальной зоны?

42. Какие фронты над сушей более выражены в холодный период года, чем в теплый, и почему?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

43. В какое время суток над сушей происходит обострение теплого и холодного фронтов?

44. Какие облака являются типичными для теплого фронта и какова причина формирования этих облаков?

45. Назовите облака – предвестники теплого фронта.

46. При каких условиях на теплых фронтах могут формироваться замаскированные кучево-дождевые облака?

47. Какие фронты над сушей более выражены в теплый период, чем в холодный, и почему?

48. Какие фронты являются самыми опасными для авиации и почему?

49. Какая облачность характерна для холодного фронта второго рода?

50. Назовите облака – предвестники холодного фронта второго рода.

51. Почему образуются фронты окклюзии?

52. Какова длина, ширина и мощность струйного течения?

53. Как определяется интенсивность струйного течения, и какое струйное течение является самым интенсивным?

54. Как изменяется положение струйного течения в зависимости от времени года?

55. Какие циклоны и антициклоны называются низкими, средними, высокими?

56. Охарактеризуйте стадии развития внетропического циклона.

57. Какие части можно выделить в молодом циклоне? Охарактеризуйте их.

58. Что понимают под углублением и заполнением циклона?

59. Что такое точка окклюзии?

60. В какой стадии своего развития циклон является холодным, малоподвижным и высоким?

61. Какая стадия развития циклона является самой продолжительной?

62. В какой стадии своего развития циклон является окклюдированным?

63. Охарактеризуйте стадии развития антициклона.

64. Что понимают под усилением и разрушением антициклона?

65. В какой стадии антициклона наблюдаются приземная и высотная инверсии?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

66. В какой стадии своего развития антициклон является высоким, теплым и малоподвижным?

67. Какая стадия развития антициклона является самой продолжительной?

68. Какие правила перемещения циклонов и антициклонов Вы знаете?

69. *Оцените влияние погодных условий теплого фронта на полеты ВС в зависимости от времени года и суток.

70. *Оцените влияние погодных условий холодного фронта на полеты ВС в зависимости от времени года и суток.

71. *Оцените влияние погодных условий в разных частях циклона на полеты ВС в зависимости от времени года.

72. *Оцените влияние погодных условий в разных частях антициклона на полеты ВС в зависимости от времени года.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Возникновение, перемещение и эволюция синоптических объектов – это…

а) синоптическая карта;

б) метеорологические элементы;

в) синоптические процессы;

г) синоптическая метеорология.

2. Воздушные массы, атмосферные фронты, барические системы, струйные течения – это…

а) метеорологические элементы;

б) синоптические объекты;

в) общая циркуляция атмосферы;

г) циклоны и антициклоны.

3. Причина возникновения общей циркуляции атмосферы:

а) неравномерный приток солнечной радиации;

б) неоднородность подстилающей поверхности;

в) наличие силы Кориолиса;

г) все ответы правильные.

4. Возникновение, перемещение и развитие циклонов и антициклонов – это…

а) циклоническая деятельность внетропических широт;

б) особенность тропической зоны;

в) внутритропическая зона конвергенции;

г) субтропический пояс повышенного давления.

5. Трансформация воздушной массы – это…

а) вертикальные движения;

б) изменение ее свойств;

в) устойчивость воздушной массы;

г) неустойчивость воздушной массы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. Воздушная масса, перемещающаяся на холодную подстилающую поверхность, называется…

а) холодной;

б) нейтральной;

в) теплой;

г) неустойчивой.

7. Воздушная масса, перемещающаяся на теплую подстилающую поверхность, называется…

а) холодной;

б) нейтральной;

в) теплой;

г) устойчивой.

8. Для теплой устойчивой воздушной массы зимой характерна облачность…

а) кучево-дождевая;

б) слоистая;

в) верхнего яруса;

г) среднего яруса.

9. Для холодной неустойчивой воздушной массы характерна облачность…

а) кучево-дождевая;

б) слоистая;

в) верхнего яруса;

г) среднего яруса.

10. Холодная неустойчивая воздушная масса летом наблюдается…

а) в центре антициклона;

б) в передней части циклона;

в) в тыловой части циклона;

г) в теплом секторе циклона.

11. В устойчивой воздушной массе наблюдается…

а) конвективная облачность;

б) инверсия;

в) порывистый ветер;

г) шквал.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

12. Переходная зона между воздушными соседними массами называется…

а) барической системой;

б) циклоном;

в) атмосферным фронтом;

г) барической депрессией.

13. Атмосферный фронт всегда наклонен в сторону…

а) теплой воздушной массы;

б) нейтральной массы;

в) пониженного давления воздуха;

г) холодной воздушной массы.

14. Передний край перемещающейся теплой воздушной массы называется…

а) холодным фронтом;

б) стационарным фронтом;

в) теплым фронтом;

г) верхним фронтом.

15. Передний край перемещающейся холодной воздушной массы называется…

а) холодным фронтом;

б) стационарным фронтом;

в) теплым фронтом;

г) верхним фронтом.

16. Холодный фронт второго рода движется…

а) в сторону холодной воздушной массы;

б) медленнее, чем холодный фронт первого рода;

в) со скоростью 50 км/ч или более;

г) со скоростью 30-40 км/ч.

17. Для холодного фронта второго рода характерна облачность…

а) слоистообразная;

б) кучево-дождевая;

в) среднего яруса;

г) верхнего яруса.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

18. Вторичные фронты – это приземные фронты, которые образуются…

а) в передней части циклона;

б) в теплом секторе циклона;

в) в тыловой части циклона;

г) на западной периферии антициклона.

19. На атмосферном фронте скачкообразно изменяются многие величины, кроме…

а) плотности воздуха;

б) давления воздуха;

в) прозрачности воздуха;

г) температуры воздуха.

20. Фронтальная поверхность всегда располагается…

а) в барическом гребне;

б) в седловине;

в) в барической ложбине;

г) горизонтально.

21. Чем больше контраст температуры воздуха в зоне атмосферного фронта, тем…

а) активнее фронт;

б) меньше угол наклона фронта;

в) меньше облаков;

г) безопаснее фронт.

22. Фронтальный раздел представляет собой…

а) конвективный слой;

б) адвективный слой;

в) задерживающий слой;

г) все ответы правильные.

23. Основная система фронтальных облаков формируется…

а) в холодном воздухе;

б) под фронтальной поверхностью;

в) в теплом воздухе;

г) летом.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

24. Обострение атмосферного фронта – это…

а) фронтолиз;

б) фронтогенез;

в) размывание фронта;

г) уменьшение горизонтального градиента температуры.

25. Размывание атмосферного фронта – это…

а) фронтолиз;

б) фронтогенез;

в) увеличение горизонтального градиента температуры;

г) образование фронта.

26. Область значительного сгущения изогипс на картах абсолютной барической топографии – это…

а) воздушная масса;

б) тропопауза;

в) высотная фронтальная зона;

г) циклон.

27. Ось струйного течения располагается чаще всего вблизи поверхности…

а) 850 гПа;

б) 500 гПа;

в) 300 гПа;

г) земли.

28. В областях входа и дельты высотной фронтальной зоны наблюдается…

а) сильное обледенение;

б) сильная атмосферная турбулентность;

в) гроза;

г) град.

29. Самый опасный для полетов ВС атмосферный фронт….

а) теплый;

б) окклюзии;

в) холодный первого рода;

г) холодный второго рода.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

30. Над сушей теплые фронты более выражены…

а) весной;

б) летом;

в) осенью;

г) зимой.

31. Предвестники теплого фронта – это…

а) кучевые облака;

б) башенкообразные облака;

в) перистые когтевидные облака;

г) чечевицеобразные облака.

32. Оптическое явление гало является особенностью облаков…

а) кучево-дождевых;

б) перисто-слоистых;

в) слоистых;

г) высокослоистых.

33. При температуре воздуха от 0 до -20 ºС в слоистообразной облачности почти всегда наблюдается…

а) болтанка ВС;

б) гроза;

в) обледенение ВС;

г) кучево-дождевая облачность.

34. Предвестники холодного фронта второго рода – это облака…

а) высококучевые хлопьевидные;

б) перистые когтевидные;

в) высококучевые чечевицеобразные;

г) перисто-слоистые.

35. Холодные фронты над сушей более выражены…

а) зимой в послеполуденные часы;

б) весной в утренние часы;

в) летом в послеполуденные часы;

г) осенью ночью.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

36. Теплые фронты над сушей более выражены…

а) в послеполуденные часы;

б) ночью;

в) днем;

г) все ответы правильные.

37. Фронт окклюзии образуется, т.к. …

а) теплый фронт движется быстрее холодного;

б) холодный фронт движется быстрее теплого;

в) циклон малоподвижный;

г) все ответы правильные.

38. Теплый фронт окклюзии над сушей чаще наблюдается….

а) зимой, чем летом;

б) летом, чем зимой;

в) весной, чем осенью;

г) осенью, чем весной.

39. Холодный фронт окклюзии над сушей чаще наблюдается…

а) зимой, чем летом;

б) летом, чем зимой;

в) весной, чем осенью;

г) осенью, чем весной.

40. Форма общей циркуляции атмосферы во внетропических широтах – это…

а) субтропический пояс повышенного давления;

б) тропический фронт;

в) циклоническая деятельность;

г) седловина.

41. Волновой циклон – это барическое образование…

а) низкое;

б) среднее;

в) малоподвижное;

г) высокое.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

42. Молодой циклон – это барическое образование…

а) окклюдированное;

б) среднее;

в) низкое;

г) высокое.

43. Максимально развитый циклон является…

а) окклюдированным;

б) низким;

в) теплым;

г) циклоном с максимальным давлением воздуха в центре.

44. Точка окклюзии в циклоне появляется, когда циклон…

а) волновой;

б) молодой;

в) максимально развитый;

г) заполняющийся.

45. Часть циклона между теплым и холодным фронтами – это…

а) передняя часть циклона;

б) теплый сектор;

в) тыловая часть циклона;

г) центральная часть циклона.

46. Самая продолжительная стадия циклона – это…

а) молодой циклон;

б) волновой циклон;

в) заполняющийся циклон;

г) максимально развитый циклон.

47. Циклон заполняется, если…

а) давление воздуха в центре циклона растет;

б) давление воздуха в центре циклона падает;

в) циклон молодой;

г) циклон волновой.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

48. Циклон углубляется, если…

а) давление воздуха в центре циклона растет;

б) давление воздуха в центре циклона падает;

в) циклон малоподвижный;

г) циклон высокий.

49. Возрождение заполняющегося циклона при приближении к нему нового атмосферного фронта – это…

а) трансформация циклона;

б) окклюдирование циклона;

в) заполнение циклона;

г) регенерация циклона.

50. Каждый новый циклон циклонической серии находится…

а) севернее своего предшественника;

б) в стадии заполнения;

в) в стадии окклюдирования;

г) южнее своего предшественника.

51. Разрушающийся антициклон…

а) быстро движется;

б) усиливается;

в) малоподвижен;

г) низкий.

52. Антициклон является подвижным, если он находится в стадии…

а) разрушения;

б) молодого антициклона;

в) максимального развития;

г) теплого антициклона.

53. Разрушающийся антициклон является…

а) низким;

б) средним;

в) высоким;

г) холодным.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

54. Высокий циклон…

а) углубляется;

б) заполняется;

в) является теплым;

г) быстро движется.

55. Высокий антициклон…

а) усиливается;

б) является теплым;

в) быстро движется;

г) является холодным.

56. Наибольшую продолжительность существования имеет стадия…

а) молодого антициклона;

б) максимально развитого антициклона;

в) разрушающегося антициклона;

г) низкого антициклона.

57. Грозы на теплом фронте над сушей чаще всего развиваются…

а) летом днем;

б) летом ночью;

в) зимой днем;

г) зимой ночью.

58. Молодой циклон с круговыми изобарами перемещается…

а) в сторону очага роста давления воздуха;

б) по правилу изобар теплого сектора;

в) параллельно изобарам теплой части циклона;

г) в сторону теплой воздушной массы.

59. Молодой антициклон с круговыми изобарами перемещается…

а) в направлении очага роста давления воздуха;

б) в направлении очага падения давления воздуха;

в) параллельно изобарам передней части антициклона;

г) параллельно изобарам тыловой части антициклона.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

60. Циклон движется в направлении линии, соединяющей очаги падения и роста давления воздуха, согласно правилу…

а) изобар теплого сектора;

б) экстраполяции;

в) изаллобарической пары;

г) ведущего потока.

61. Циклоны и антициклоны, развитые до высоты 9 км, …

а) быстро перемещаются;

б) средние;

в) теплые;

г) малоподвижные.

62. Отрицательные барические тенденции в центре циклона и в его теплом секторе говорят о …

а) заполнении циклона;

б) углублении циклона;

в) размывании циклона;

г) улучшении условий погоды.

63. Характер суточной эволюции атмосферных фронтов над сушей и над морем…

а) аналогичен;

б) трудно определить;

в) прямо противоположен;

г) не зависит от состояния подстилающей поверхности.

64. Каждая точка приземной линии фронта перемещается вдоль проходящей над ней изогипсы АТ-700 гПа по правилу…

а) экстраполяции

б) интерполяции; ;

в) изаллобарической пары;

г) ведущего потока.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Раздел 9

Опасные для авиации явления погоды

9.1. Обледенение ВС в полете

9.1.1. Причины обледенения ВС и его влияние на полеты

Обледенение ВС в полете – это отложение льда на обтекаемых частях и силовых установках ВС. Оно может наблюдаться в любое время года и суток, если имеет место хотя бы один из двух процессов: во-первых, замерзание оседающих на поверхности ВС переохлажденных капель воды; во-вторых, сублимация на поверхности ВС содержащегося в воздухе водяного пара.

Первый процесс происходит при полете в переохлажденных облаках, осадках (дожде, мороси), тумане, а также в мокром снеге и ледяном дожде. Второй процесс может наблюдаться вне облаков при быстром снижении ВС и попадании его из области отрицательных в область положительных температур окружающего воздуха, а также при наборе высоты и попадании ВС в слой инверсии температуры воздуха. Сублимационное обледенение ВС в полете не является таким опасным, как обледенение, связанное с наличием в атмосфере переохлажденных капель воды. Необходимым условием обледенения ВС в полете является отрицательная температура поверхности ВС.

Обледенение ВС в полете ухудшает аэродинамические условия обтекания ВС воздушным потоком, нарушает равновесие аэродинамических сил, уменьшает скорость и предельно-допустимую высоту полета, ухудшает маневренность ВС, снижает поступление воздуха в двигатели, ухудшает радиосвязь и видимость через стекло кабины.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.2. Интенсивность обледенения ВС в полете и факторы, влияющие на нее

Интенсивность обледенения ВС в полете – скорость нарастания льда на передней кромке крыла, т.е. толщина отложения льда в единицу времени в мм/мин. По интенсивности различают слабое обледенение (ϒ) – менее 0,5 мм/мин; умеренное обледенение (ϒ) – 0,5-1,0 мм/мин; сильное обледенение (ϒ) более 1 мм/мин.

Для теоретической оценки факторов, влияющих на интенсивность обледенения, используется формула

$$I = \frac{V \times \omega \times \mathrm{E} \times \beta}{\rho}, \qquad (9.1)$$

где I – интенсивность обледенения;

V – воздушная скорость ВС;

ω – водность облака;

E – интегральный коэффициент захвата;

β – коэффициент намерзания;

ρ – плотность нарастающего льда.

Водность облака в настоящее время в районе аэродрома не измеряется. О ней можно косвенно судить по форме облаков. Водность облаков изменяется от тысячных долей грамма до нескольких граммов в одном кубическом метре. Сильное обледенение наблюдается при водности более 1 г/м^3. Плотность нарастающего льда колеблется от 0,6 г/см^3 (в случае белого льда) до 1 г/см^3 (в случае прозрачного льда).

Интегральный коэффициент захвата – отношение фактически осевшей на профиле крыла массы воды к той массе, которая осела бы при отсутствии искривлений траекторий капель воды. Этот коэффициент зависит от размера капель, толщины профиля крыла и воздушной скорости: чем крупнее капли, тоньше профиль крыла и больше воздушная скорость, тем больше интегральный коэффициент захвата.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Коэффициент намерзания – отношение массы нарастающего льда к массе воды, осевшей за то же время на ту же поверхность. Незначительная часть осевшей на поверхность воды сдувается и уносится потоком воздуха. При температуре воздуха ниже -5 °С этот коэффициент равен 1.

Степень обледенения – суммарное отложение льда за время пребывания ВС в зоне обледенения. Чем продолжительнее полет в условиях обледенения, тем больше степень обледенения. Полет ВС в зоне обледенения продолжается, как правило, 10 мин или менее.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.3. Виды и формы отложения льда на ВС в полете

Различают пять видов обледенения ВС в полете: прозрачный лед, матовый лед, белый лед, изморозь и иней. Самыми опасными видами считаются прозрачный и матовый лед.

Прозрачный лед образуется при полете в зоне переохлажденного дождя (FZRA) или в водяных облаках при наличии крупных капель при температуре воздуха от 0 до -10 °С. Прозрачный лед является самым плотным из всех видов (1 г/см³). Он может иметь профильную, желобкообразную, корытообразную формы, а также форму барьерного льда.

Матовый лед образуется при полете ВС в смешанных облаках, содержащих переохлажденные капли разных размеров, кристаллы и снежинки при температуре воздуха от -5 до -10°С. Этот вид обледенения может наблюдаться в форме клинообразного нароста, сильно искажающего профиль крыла.

Белый крупообразный лед образуется при полетах в водяных облаках, состоящих из мелких капель, при температуре воздуха ниже -10 °С. ***Изморозь*** образуется при полете в смешанных облаках, состоящих из мелких капель и кристаллов льда, при температуре воздуха ниже -10 °С. ***Иней*** – белый, мелкокристаллический налет, который образуется вследствие сублимации водяного пара на поверхности ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.4. Кинетический нагрев ВС

Кинетический нагрев ВС возникает вследствие торможения потока воздуха, которое приводит к сжатию воздуха и повышению температуры поверхности ВС. В критической точке на передней кромке крыла, где поток полностью тормозится, кинетический нагрев ВС наибольший. Нагрев боковых частей ВС меньше нагрева передней кромки крыла примерно на 20 %.

При полете в облаках кинетический нагрев ВС составляет 60 % от величины кинетического нагрева ВС при полете в безоблачном небе из-за испарения капель, оседающих на поверхность ВС.

Кинетический нагрев скоростных ВС препятствует их обледенению. Обледенение ВС в полете в 90 % случаев возникает при воздушных скоростях до 600 км/ч. Кинетический нагрев ВС в облаках при воздушной скорости 800 км/ч составляет 15 °С. ВС чаще всего подвергаются обледенению при взлете, наборе высоты, снижении и заходе на посадку.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.5. Синоптические условия обледенения ВС в полете

Обледенение ВС при полете в зоне атмосферных фронтов наблюдается в 2,5 раза чаще, чем при полете в однородных воздушных массах. Это связано с тем, что фронтальная облачность является, как правило, более мощной и более протяженной по горизонтали, чем внутримассовая.

Обледенение ВС при полетах в зоне холодных фронтов наблюдается на 30 % чаще, чем при полетах в зоне теплых фронтов. Сильное обледенение ВС при полетах в зоне атмосферных фронтов отмечается вблизи линии фронта у поверхности земли, в зоне, шириной около 200 км.

Сильное обледенение ВС при полетах в однородных воздушных массах наблюдается в единичных случаях.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.6. Температурные условия обледенения ВС в полете

Обледенение ВС в полете может быть при температуре воздуха от +5 до -50°С. Наибольшая повторяемость обледенения отмечается при температуре от 0 до -20 °С в облаках и переохлажденных осадках. Наиболее опасным обледенение бывает при температуре от 0 до -10 °С.

Обледенение газотурбинных двигателей может происходить при положительной температуре воздуха. В воздухозаборнике происходит адиабатическое расширение воздуха и понижение его температуры до отрицательных значений. При обледенении двигателя отложение льда происходит на поверхности входного канала. Обледенение карбюратора может произойти при положительной температуре воздуха 25 °С.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.7. Особенности обледенения ВС в облаках различных форм

Облака вертикального развития (Cu, Cb) содержат крупные капли диаметром 100 мкм и более. Водность в кучево-дождевых и мощных кучевых облаках увеличивается с высотой и может достигать 6 г/м³. Поэтому в этих облаках наблюдается, как правило, сильное обледенение, интенсивность которого 2 мм/мин и более.

В массиве Ns – As наблюдается уменьшение размеров и количества капель с увеличением высоты. Водность этих облаков составляет в среднем 0,2-0,3 г/м³. Сильное обледенение ВС наблюдается при полете в нижней части Ns при водности 1 г/м³ и более. Если водность менее 0,1 г/м³, то наблюдается, как правило, слабое обледенение ВС. Если из слоистообразных облаков выпадают продолжительные умеренные обложные осадки, то водность облаков со временем уменьшается, и обледенение в них не наблюдается.

Внутримассовые St и Sc являются, как правило, водяными и характеризуются увеличением водности с увеличением высоты. При температуре от 0 до -20 °С в них всегда наблюдается обледенение, иногда сильное.

В Ac водность в среднем составляет 0,1 г/м³, поэтому при полетах в этих облаках наблюдается слабое обледенение. Однако, если мощность облаков более 600 м, то обледенение ВС может быть сильным.

В кристаллических облаках верхнего яруса обледенение ВС маловероятно. Однако обледенение ВС всегда наблюдается при полете в Ci, образующихся после разрушения грозовых облаков.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.1.8. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению безопасности полетов в условиях обледенения

Экипажи ВС перед полетом и диспетчеры УВД, оценивая метеорологическую обстановку на аэродромах вылета, назначения, запасных и по маршруту полета, должны выявить и учесть возможность обледенения ВС. При этом необходимо определить: характер атмосферных процессов (фронтальные или внутримассовые); характеристики облаков (количество, форму, высоту нижней и верхней границ); стратификацию атмосферы (устойчивая или неустойчивая); вертикальный градиент температуры воздуха; высоту изотерм (0, -10, -20 °С).

Следует помнить, что полеты в зоне обледенения относятся к полетам в особых условиях. Сильное обледенение ВС в полете является опасным явлением на аэродромах и по маршрутам полетов. Попадание ВС в зону сильного обледенения является особым случаем в полете. Взлет и посадка ВС в условиях сильного обледенения запрещаются.

Перед запуском двигателя экипаж ВС должен убедиться в том, что поверхность ВС является чистой. Взлет запрещается, если поверхность ВС покрыта льдом, инеем, изморозью, снегом. Взлет и набор высоты до выхода из зоны обледенения необходимо производить с постоянно включенными противообледенительными системами (ПОС) ВС.

На всех этапах полета ПОС должна быть включена до входа в зону возможного обледенения, т.е. перед входом в облака, туман, снегопад, дождь, морось, мокрый снег, ледяной дождь при температуре воздуха 5°С и ниже.

Следует помнить признаки сильного обледенения: быстрое нарастание льда на стеклоочистителях, лобовом стекле; изменение приборной скорости на 10-20 км/ч.

Зимой из зоны обледенения следует уходить вверх – в область более низких температур воздуха, а летом вниз – в область положительных температур воздуха.

Для турбореактивных ВС активным способом борьбы с обледенением является увеличение приборной скорости. На ВС, не имеющих ПОС, полеты в усло-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

виях обледенения запрещаются. Время нахождения ВС в условиях обледенения должно быть минимальным.

Если принятые экипажем меры по борьбе с обледенением оказываются неэффективными, и не обеспечивается безопасное продолжение полета, экипаж обязан, применив сигнал срочности, по согласованию с диспетчером изменить высоту или маршрут полета для выхода в район, где возможно безопасное продолжение полета, или принять решение об уходе на запасной аэродром.

Органы УВД должны своевременно доводить до экипажей информацию о наличии и/или прогнозировании обледенения на аэродроме и в районе аэродрома; должны быть готовы рекомендовать экипажам пути обхода зон сильного обледенения и запасные аэродромы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.2. Наземное обледенение

9.2.1. Виды наземного обледенения и условия их возникновения

Наземное обледенение является причиной авиационных происшествий, связанных с выкатыванием ВС за пределы ВПП, неудовлетворительным состоянием ВПП, обледенением ВС во время стоянки на земле.

Наземное обледенение – это обледенение ВПП, а также появление воды в твердом состоянии – гололеда, изморози, инея, замерзшего мокрого снега – на различных частях ВС, находящихся на земле. Выделяют различные виды наземного обледенения в зависимости от причин и условий их образования.

Гололед образуется при замерзании переохлажденных капель дождя (FZRA) или мороси (FZDZ) при столкновении их с поверхностью ВПП или ВС во время стоянки его на земле или при рулении. Гололед (лед) бывает прозрачным или матовым и образуется при температуре воздуха от 0 до -10 °С. Прозрачный лед имеет плотность около 1 г/см^3, образуется при выпадении FZRA и является особенно опасным для авиации видом наземного обледенения. Матовый лед имеет меньшую плотность, образуется при более низкой температуре воздуха и меньших размерах переохлажденных капель воды (FZDZ), чем прозрачный лед.

Гололед может наблюдаться при внутримассовых и фронтальных процессах. ***Внутримассовый гололед*** образуется при адвекции теплого и влажного воздуха. Это происходит на западной периферии антициклонов, а также в теплых секторах циклонов. ***Фронтальный гололед*** возникает чаще всего в зоне теплых фронтов и фронтов окклюзии по типу теплых.

Зернистая изморозь представляет собой снеговидное отложение, нарастающее в ветреную погоду при наличии переохлажденного тумана (FZFG), на ВПП и ВС. Плотность этого вида наземного обледенения меньше плотности гололеда. Зернистая изморозь образуется при тех же синоптических процессах, что и гололед. Иногда на аэродромах может наблюдаться сложное наземное обледенение – попеременное отложение гололеда и зернистой изморози.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Кристаллическая изморозь образуется в условиях слабого ветра и переохлажденного тумана при температуре воздуха ниже -15 °С и имеет меньшую плотность, чем зернистая изморозь. Кристаллическая изморозь – это белый осадок из кристаллов льда, возникающий преимущественно на выступающих частях ВС. Образование ее происходит при внутримассовых процессах: в антициклонах, барических гребнях, малоградиентных полях повышенного давления.

Иней является сублимационным видом наземного обледенения. Это слой кристаллов льда, который образуется на горизонтальных плоскостях ВС и на ВПП при их радиационном охлаждении в ясные безветренные ночи до температуры ниже 0 °С. Синоптические условия образования инея и кристаллической изморози аналогичны.

Замерзший (оледенелый) мокрый снег представляет собой слой льда, который образуется на ВС и на ВПП в результате замерзания налипшего мокрого снега или снега с дождем (RASN). Эти атмосферные осадки выпадают при температуре воздуха от -3 до 3 °С. При более низкой температуре снег не обладает липкостью и легко сдувается с предметов под действием ветра. При более высокой температуре воздуха снег быстро тает.

Мокрый снег и ***снег с дождем*** выпадают обычно из слоистообразных и кучево-дождевых облаков при фронтальных процессах. Если осадки выпадают из Cb, то они называются ливневыми. Замерзший мокрый снег наблюдается на аэродромах, как правило, после прохождении холодного фронта или фронта окклюзии по типу холодного. Понижение температуры воздуха и замерзание налипшего мокрого снега может произойти также за счет суточного хода температуры воздуха. Плотность оледенелого мокрого снега может быть такой же, как и плотность гололеда.

Нарастание гололеда, зернистой изморози и замерзание мокрого снега происходит в большей степени на тех частях ВС на стоянке, которые обращены к ветру.

Взлет ВС даже с небольшим количеством любого вида наземного обледенения является опасным.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.2.2. Обледенение ВПП

Обледенению ВПП способствует большая инерция температуры, свойственная покрытию ВПП (бетон, асфальт): покрытие ВПП может долго сохранять отрицательную температуру при наступлении оттепели. Температура воздуха, измеряемая на аэродроме на высоте 2 м, может на несколько градусов отличаться от температуры поверхности ВПП.

В зависимости от причины образования различают следующие виды обледенения ВПП: гололед, гололедица, ледяной налет, зернистая изморозь, зернистый налет, снежный накат, оледенелый снег, иней и кристаллическая изморозь. Некоторые из этих видов описаны в разделе 9.2.1.

Гололедица – замерзание талой или дождевой воды на ВПП при переходе температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям. Этот переход может происходить при внутримассовых и фронтальных процессах. Причиной понижения температуры воздуха может стать прохождение холодного фронта через район аэродрома, адвекция холодного воздуха, суточный ход температуры воздуха.

Ледяной налет – намерзание капель дождя или мороси на ВПП, температура которой ниже 0 °С. Этот вид наземного обледенения наблюдается, в отличие от гололеда, при положительной температуре воздуха при резком потеплении, вызванном прохождением теплого фронта через район аэродрома или адвекцией теплого влажного воздуха при внутримассовых процессах.

Зернистый налет – намерзание капель тумана на ВПП, температура которой ниже 0 °С. Этот вид наблюдается, в отличие от зернистой изморози, при положительной температуре воздуха в начале оттепели в связи с теми же синоптическими процессами, что и в случае ледяного налета.

Снежный накат – это уплотненный и укатанный снег на ВПП. Уплотнение происходит под колесами ВС, автомашин. Оледенелый снег – замерзший мокрый снег на ВПП, образующий неровную поверхность.

Самыми опасными видами обледенения ВПП являются гололед, гололедица и ледяной налет. Если на ВПП наблюдаются другие виды наземного обледене-

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ния, то шероховатость ВПП несколько повышается, а коэффициент сцепления увеличивается.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.2.3. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению БП в условиях наземного обледенения

При оценке метеорологической обстановки на аэродромах экипажи ВС и диспетчеры УВД должны учитывать климатические, синоптические и метеорологические закономерности возникновения различных видов наземного обледенения.

Необходимо знать условные обозначения различных видов наземного обледенения, используемые в сводках фактической погоды, в прогностической информации по аэродромам, на текущих и прогностических картах погоды.

Следует помнить, что после прекращения переохлажденных осадков, тумана, мокрого снега или снега с дождем лед на ВПП и на поверхности ВС во время стоянки некоторое время сохраняется, а затем начинает разрушаться.

Нужно учитывать то, что температура воздуха на высоте 2 м от поверхности земли, указанная в сводках фактической погоды на аэродроме, может отличаться на несколько градусов от температуры ВПП и различных частей ВС во время стоянки на земле.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.3. Атмосферная турбулентность

9.3.1. Атмосферная турбулентность и болтанка ВС

Движение воздуха в атмосфере имеет вихревой характер. Вихри в атмосфере размерами от нескольких десятков до нескольких сотен метров и связанные с этими вихрями вертикальные составляющие движения воздуха вызывают болтанку ВС. Болтанка ВС проявляется в виде тряски, вздрагиваний или, в случае сильной болтанки, резких и значительных перемещений ВС в вертикальной плоскости на десятки, а иногда и сотни метров.

Интенсивность болтанки ВС оценивается с помощью приращения перегрузки. Приращение перегрузки равно отношению ускорения ВС в вертикальной плоскости к ускорению свободного падения. ВС приобретает вертикальное ускорение под влиянием воздушного вертикального порыва без вмешательства пилота в управление самолетом. Приращение перегрузки ВС в полете измеряется с помощью акселерометров, акселерографов и субъективно по ощущению экипажа.

Зависимость приращения перегрузки от различных факторов характеризует формула

$$\Delta n = \frac{\rho \times V \times w \times C_y^{\alpha} \times S}{2G}, \qquad (9.2)$$

где Δn – приращение перегрузки;

ρ – плотность воздуха;

V – воздушная скорость;

C_y^{α} – производная коэффициента подъемной силы по углу атаки α;

G – полетный вес ВС;

S – площадь несущей поверхности крыла;

w – скорость эффективного воздушного вертикального порыва.

При полете в одной и той же турбулентной зоне разные ВС испытывают болтанку разной интенсивности. В соответствии со стандартами ИКАО, если

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

$|\Delta n| \leq 0{,}5$, болтанка считается слабой при вертикальном порыве менее 10 м/с. При $0{,}5 < |\Delta n| \leq 1{,}0$ болтанка относится к умеренной, а вертикальные порывы составляют 10-15 м/с. Если $|\Delta n| > 1{,}0$, то имеет место сильная болтанка при вертикальных порывах более 15 м/с. Эти критерии интенсивности болтанки применяются в международной практике для всех этапов полета ВС.

В России приняты другие критерии интенсивности болтанки, по сравнению с горизонтальным полетом, если ВС находится в посадочной конфигурации, когда устойчивость и управляемость ВС ухудшены. При $0{,}3 \leq |\Delta n| \leq 0{,}4$ болтанка считается умеренной, а при $|\Delta n| > 0{,}4$ – сильной. Критерии интенсивности болтанки соответствуют критериям интенсивности атмосферной турбулентности.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.3.2. Причины и виды атмосферной турбулентности

Причиной возникновения турбулентных зон в атмосфере, вызывающих болтанку ВС, является изменение ветра и температуры воздуха в пространстве. Это изменение происходит при различных физических процессах.

При взаимодействии воздушного потока с земной поверхностью возникает **механическая (динамическая**) и **орографическая** турбулентность. Чем больше скорость ветра и шероховатость подстилающей поверхности, тем интенсивнее механическая турбулентность. Орографическая турбулентность возникает в результате деформации воздушного потока над горами и над подветренной стороной гор.

Для развития орографической турбулентности благоприятны следующие условия: ветер со скоростью более 10 м/с вблизи вершины горы, направленный почти перпендикулярно горному хребту; в воздушном невозмущенном потоке ветер усиливается до высоты, примерно в полтора раза превышающей высоту хребта, а затем с увеличением высоты резко ослабевает; невозмущенный поток воздуха стратифицирован устойчиво.

Над зоной вихрей (роторов) в атмосфере над подветренной стороной гор часто наблюдается система подветренных волн, которые называются горными волнами. Роторы концентрируются под гребнями волн. Наиболее интенсивный и опасный для полетов ВС вихрь образуется под первым гребнем горной волны, ближайшим к хребту. Для этого вихря характерно **роторное облако** – кучевое облако с рваными краями, которое является видимым признаком орографической турбулентности, вызывающей сильную болтанку ВС. Основание облака находится обычно на уровне гребня горного хребта.

Роторно-волновая деформация воздушного потока в горах является наиболее опасной для полетов ВС. При полете над подветренной стороной горного хребта ВС может быть втянуто нисходящими потоками в зону сильной орографической турбулентности.

Термическая турбулентность (неупорядоченная конвекция) возникает вследствие неравномерного нагревания подстилающей поверхности. Этот вид турбулентности имеет четко выраженный суточный и годовой ход и наиболее сильно

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

проявляется над сушей летом в послеполуденные часы местного времени, когда она охватывает слой атмосферы от поверхности земли до высоты 2-2,5 км.

Оптимальные условия развития умеренной и сильной термической турбулентности наблюдаются в теплый период года при наличии Cu hum. в количестве двух-трех октантов и вертикальной протяженности их менее 1 км. В этих условиях при большом притоке солнечной радиации к земной поверхности увеличивается неравномерность ее нагревания. При полете ВС под кучевыми облаками наблюдается умеренная и сильная болтанка ВС. Более благоприятны условия полета – над этими облаками. Если появляется сплошная облачность, то развитие термической турбулентности прекращается.

Термическая турбулентность не наблюдается зимой в умеренных широтах над сушей, покрытой снегом, благодаря большому альбедо снега. Влажная почва замедляет процесс развития термической турбулентности, т.к. тепловая энергия расходуется на испарение воды с поверхности почвы. Слабый приземный ветер со скоростью менее 7 м/с благоприятен для развития термической турбулентности. При адвекции холодного воздуха развитие термической турбулентности усиливается, а при адвекции теплого воздуха – ослабевает.

Турбулентность при ясном небе (CAT) – это турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности. Она часто связана со струйными течениями и высотными фронтальными зонами. Наибольшая повторяемость умеренной и сильной турбулентности отмечается на холодной циклонической стороне струйного течения несколько ниже его оси.

Если в области струйного течения наблюдаются радиальные облака, представляющие собой вытянутые вдоль потока полосы, то атмосферная турбулентность отмечается в этой области более часто, чем при безоблачном небе. Чем сильнее и быстрее меняется внешний вид этих облаков, тем сильнее развита турбулентность в атмосфере.

Атмосферная турбулентность в облаках на всех высотах выражена сильнее, чем в безоблачном небе. В облаках вертикального развития сильная турбулентность наблюдается чаще, чем слабая турбулентность, а в слоистообразной облачности – наоборот.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Атмосферная турбулентность в зоне атмосферных фронтов обусловлена резкими изменениями температуры воздуха и ветра на фронтах. Сильная турбулентность часто отмечается в зоне холодного фронта второго рода и за ним на расстоянии до 150 км от приземной линии фронта. Иногда в зоне холодных и теплых фронтов в слое от 300 до 1500 м наблюдается струйное течение низких уровней, с которым может быть связана сильная атмосферная турбулентность.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.3.3. Пространственные размеры турбулентных зон в атмосфере

По горизонтали диаметр зон атмосферной турбулентности различной интенсивности в 80 % случаев менее 100 км. Толщина этих зон по вертикали, как правило, менее 1 км. В редких случаях атмосферная турбулентность может наблюдаться во всей толще тропосферы.

Горизонтальные и вертикальные размеры зон сильной турбулентности примерно в три раза меньше указанных выше: по горизонтали – менее 40 км, а по вертикали – менее 300 м.

С увеличением высоты над уровнем моря и увеличением широты места наблюдается уменьшение размеров турбулентных зон в атмосфере, вызывающих болтанку ВС различной интенсивности.

Время существования турбулентной зоны в среднем составляет 5 ч, затем турбулентность затухает. В редких случаях турбулентная зона может сохраняться 24 ч и более. В верхней тропосфере турбулентная зона над аэродромом чаще всего сохраняется не более 2 ч.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.3.4. Обнаружение и прогноз зон атмосферной турбулентности

В настоящее время сообщения пилотов с борта ВС по-прежнему являются основным источником информации о наличии или отсутствии турбулентности в атмосфере. Эти сообщения используются при составлении прогнозов по аэродрому, по району аэродрома и по маршрутам полетов.

Вместе с тем, в международной практике активно разрабатываются и используются объективные бортовые системы определения зон турбулентности. Эти системы измеряют вертикальные ускорения ВС, что позволяет оценить перегрузку ВС в соответствии с его типом и массой. Эта информация может быстро передаваться в метеорологический орган благодаря бортовым радио- и спутниковым системам связи.

Кроме того, при выявлении зон турбулентности при ясном небе в настоящее время широко используются снимки с геостационарных спутников, сделанные в области поглощения водяного пара. По этим снимкам можно проследить движения воздуха в средней и верхней тропосфере при отсутствии облаков.

На международных аэродромах в целях обнаружения зон турбулентности в районе аэродрома устанавливаются мощные доплеровские метеорологические радиолокаторы (радары), например, такие, как PRIMUS 880. На дисплее этого радара зоны турбулентности показываются белым цветом для расстояний до 100 км (50 морских миль).

Методы прогнозирования атмосферной турбулентности в настоящее время интенсивно развиваются. Имеются попытки использовать в этих целях экспертные системы.

При прогнозировании турбулентности при ясном небе методом комплекса критериев используются следующие критерии CAT: вертикальный градиент скорости ветра 10 м/с и более на 1 км высоты; изменение направления ветра на 15° и более на 1 км высоты; вертикальный градиент температуры воздуха 0,7 °С и более на 100 м высоты; горизонтальный градиент скорости ветра 5 м/с и более на 100 км; горизонтальный градиент температуры воздуха 2 °С и более на

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

100 км; скорость ветра 25 м/с и более. Если выполняются три из этих шести условий, то прогнозируется умеренная и сильная турбулентность.

По картам абсолютной барической топографии можно выявить зоны наибольшей вероятности CAT, связанной со струйными течениями. Эти зоны располагаются: в области расходимости изогипс в дельте ВФЗ, связанной с передней частью высотной ложбины; на оси барической ложбины слева от оси струйного течения; на оси барического гребня; в зоне слияния двух струйных течений.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.3.5. Рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зонах атмосферной турбулентности

Если ВС оказалось в зоне сильной атмосферной турбулентности, экипаж обязан принять меры для немедленного выхода из опасной зоны, в том числе с разрешения диспетчера изменить высоту полета.

При попадании ВС в зону сильной турбулентности, угрожающей безопасности полета, командир ВС имеет право самостоятельно изменить эшелон с немедленным докладом об этом диспетчеру УВД.

При полетах по ПВП в горной местности на высотах менее 900 м и попадании ВС в зону сильной турбулентности командиру ВС с разрешения диспетчера должен вывести из этой зоны ВС с набором высоты, возвратиться на аэродром вылета или следовать на запасной аэродром.

При оценке метеорологической обстановки экипаж ВС должен учитывать синоптические, метеорологические и климатические (статистические) особенности возникновения зон атмосферной турбулентности.

Необходимо помнить, что попадание ВС в зону сильной турбулентности относится к особым случаям в полете. Сильная турбулентность в атмосфере является опасным явлением на аэродромах и по маршруту полета.

Вертикальные пыльные или песчаные вихри (PO), не связанные с облаками и обнаруживаемые визуально, экипаж обязан обходить стороной. Вертикальные вихри – смерчи (FC), связанные с Cb, обнаруживаемые визуально, экипаж обязан обходить на удалении не менее 30 км от их видимых боковых границ.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.3.6. Рекомендации органам УВД по обеспечению БП в зонах атмосферной турбулентности

Диспетчеры УВД, выполняя консультативную функцию, должны знать рекомендации для пилотов (см. разд. 9.3.5).

Диспетчеры УВД должны знать и учитывать синоптические, метеорологические и климатические особенности возникновения турбулентных зон в контролируемом воздушном пространстве при оценке метеорологической обстановки.

Орган УВД должен своевременно сообщать экипажам ВС о наличии и/или прогнозировании атмосферной турбулентности в контролируемом воздушном пространстве.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4. Грозы

9.4.1. Гроза как атмосферное явление

Гроза (TS) – это опасное для авиации комплексное атмосферное явление, связанное с Cb и характеризующееся электрическими разрядами в виде молний. Грозы возникают в зонах конвективной деятельности. Необходимыми условиями образования гроз являются: высокое влагосодержание воздуха; неустойчивая стратификация атмосферы; триггерный (спусковой) механизм, заставляющий воздушную частицу двигаться вверх.

Главная характеристика грозы – это молнии. Они возникают в результате образования в Cb объемных электрических зарядов вследствие электризации капель воды и кристаллов льда. Отрицательные заряды сосредоточены, в основном, в средней и тыловой частях кучево-дождевого облака – от нижней границы облака до уровня с температурой воздуха -20 °С. Положительные заряды находятся, главным образом, в передней части облака в области восходящих потоков воздуха, а также выше изотермы -20 °С, где преобладают кристаллы льда.

Молнии возникают, как правило, между облаками, в облаке или между облаком и землей. Редко молния может ударить вверх. Разноцветные вспышки, вырывающиеся из вершин кучево-дождевых облаков в виде оранжевых, синих и красных пузырей называются «спрайтами». Такие молнии достигают высоты 95 км.

Молнии бывают линейными, разветвленными, чёточными, плоскими, шаровыми. Цвет молнии обычно розово-фиолетовый. Чаще всего наблюдаются линейные и разветвленные молнии, которые всегда сопровождаются громом. Причиной грома является нагревание и быстрое расширение воздуха в канале молнии. Длина линейной молнии может достигать 20 км, а диаметр – несколько десятков сантиметров.

Молнии происходят при напряженности электрического поля атмосферы 30 000 В/м и более. Сила тока в канале молнии достигает 200 000 А, а температура – 20 000 °С. Продолжительность молнии может колебаться от десятых долей секунды до нескольких секунд. Слабый разряд – лидер – прокладывает путь

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

для основного разряда молнии. Лидер обычно направлен от облака к земле, а главный разряд распространяется в обратном направлении с большей скоростью, чем лидер.

Плоская молния – бесшумное красноватое свечение облака, возникающее за счет большого количества коронных разрядов на облачных элементах. Чёточная молния наблюдается в виде цепочки из светящихся точек. Шаровые молнии бывают короткоживущие (до 10 с) и долгоживущие (до 1 мин). Диаметр шаровой молнии в среднем составляет 15 см. Размеры долгоживущих молний больше, чем короткоживущих. Температура шаровой молнии около 500 °К. Считается, что эта молния появляется после разряда линейной молнии.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4.2. Типы грозовых облаков

Согласно принятой Всемирной метеорологической организацией (ВМО) классификации, выделяют три типа Cb: одноячейковые, многоячейковые и суперячейковые кучево-дождевые облака.

Одноячейковые Cb возникают при внутримассовых процессах: в малоградиентном барическом поле, седловине, барической ложбине, заполняющейся депрессии. Эти облака состоят из одной конвективной ячейки – системы взаимосвязанных восходящих и нисходящих движений воздуха.

Внутримассовые грозы, град, шквал, ливневые осадки связаны с одноячейковыми Cb. Выпадающие из этих облаков ливневые осадки охлаждают воздух у поверхности земли и подавляют развитие восходящих воздушных потоков, что ведет к разрушению конвективной ячейки. Поэтому после выпадения осадков эти облака быстро разрушаются. Продолжительность жизни одноячейковых Cb менее 1 ч, а поперечный размер их менее 20 км.

Многоячейковые Cb состоят из 2-4 конвективных ячеек, находящихся на разных стадиях развития. Эти облака возникают на атмосферных фронтах, причем чаще всего на холодных фронтах (основных и вторичных). Фронтальные грозы, град, шквалы, сильные ливни связаны с многоячейковыми Cb. Продолжительность жизни этих облаков – до 2 ч, а поперечный размер – до 40 км.

Суперячейковые Cb состоят из одной мощной конвективной ячейки, которая образуется на холодном фронте второго рода. С этими облаками связаны катастрофические ливни, град, шквалы, смерчи, фронтальные грозы. Поэтому эти облака являются особенно опасными для полетов ВС. Продолжительность жизни суперячейки – до 4 ч, а поперечный размер – до 40 км.

Суперячейковые Cb характеризуются наибольшей скоростью восходящих потоков воздуха, которая достигает 50 м/с и более. Особенностью суперячейки является наличие куполообразной ниши в передней части облака, радиолокационная отражаемость которой очень мала. Ниша расположена в зоне с наиболее сильными восходящими движениями воздуха, благодаря которым элементы облака выносятся в его верхнюю часть, не успев вырасти до больших размеров. Перед нишей радиолокационная отражаемость облака очень велика и имеет

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

форму «крюка», опущенного вниз. В этой области происходит очень интенсивный рост градин.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4.3. Стадии развития грозовой ячейки

Различают три стадии развития грозовой ячейки. Начальная стадия называется стадией кучевого облака. Она длится от появления кучевого облака до выпадения ливней. Cu hum. постепенно развивается в Cu med., затем в Cu cong. и, наконец, перерастает в Cb calv., из которого выпадают ливни. Развитие Cu cong из Cu hum. происходит медленно – в течение нескольких часов, а перерастание Cu cong в Cb calv. происходит быстро – в течение нескольких десятков минут. В начальной стадии развития грозовой ячейки преобладают восходящие потоки воздуха со скоростью несколько метров в секунду.

Вторая стадия – стадия максимального развития грозовой ячейки. Она длится от начала выпадения ливней до начала разрушения (оседания) облака. В этой стадии Cb calv. развивается в Cb cap. Наблюдаются сильные восходящие и нисходящие движения воздуха со скоростью несколько десятков метров в секунду соответственно в передней и тыловой частях грозовой ячейки. Скорость восходящего потока растет с увеличением высоты, достигая максимума в верхней части облака.

Третья стадия грозовой ячейки – стадия разрушения – длится от начала разрушения Cb до его исчезновения. В этой стадии преобладают нисходящие потоки воздуха. Облако оседает со скоростью примерно 2 м/с. Вершина облака уже не куполообразная, как в стадии максимального развития, а плоская, состоящая из Ci и Cs. В среднем ярусе к Cb примыкают Ac, а в нижнем ярусе – Sc. Интенсивность опасных для авиации явлений, связанных с грозовыми облаками, в этой стадии уменьшается.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4.4. Классификация гроз

В зависимости от синоптических условий образования выделяют ***внутримассовые*** и ***фронтальные*** грозы. К внутримассовым относятся *конвективные* и *адвективные* грозы. Орографические грозы могут быть внутримассовыми и фронтальными.

Конвективные грозы связаны с термической конвекцией (неупорядоченной и упорядоченной), которую порождает неравномерный прогрев земной поверхности и которая проявляется в образовании одноячейковых Cb. Эти грозы наблюдаются над сушей летом в послеполуденные часы в малоградиентном барическом поле, в седловинах, заполняющихся депрессиях. Обычно такие грозы являются изолированными (ISOL TS). Они медленно перемещаются (10-20 км/ч) в направлении ведущего потока на уровне 700 гПа, стараясь обойти водоемы (озера, водохранилища, реки).

Адвективные грозы возникают над сушей летом в быстро перемещающейся холодной воздушной массе, которая прогревается в нижних слоях. Это происходит в тыловой части циклона или в передней части барического гребня. Адвективные грозы связаны с одноячейковыми Cb и являются обычно изолированными (ISOL TS), а иногда редкими (OCNL TS). Триггерным механизмом при образовании этих гроз является механическая и термическая турбулентность.

Фронтальные грозы наблюдаются на атмосферных фронтах и обусловлены вынужденной конвекцией, которая порождается сходимостью воздушных потоков в зоне фронта вблизи поверхности земли, а также бурным вытеснением теплого и влажного воздуха вверх надвигающимся клином холодного воздуха. Эти грозы возникают чаще всего на холодных фронтах и на фронтах окклюзии по типу холодного летом, но могут отмечаться в любое другое время года. Они связаны с многоячейковыми Cb, а в редких случаях – с суперячейковыми Cb, являются частыми (FRQ TS) или редкими (OCNL TS).

На теплых фронтах грозы наблюдаются реже, чем на холодных, возникают обычно ночью (OBSC TS), являются замаскированными – скрытыми в слоистообразной облачности (EMBD TS), и поэтому они особенно опасны для полетов

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ВС. Развитию конвективных движений на теплом фронте ночью благоприятствуют следующие факторы: высокое влагосодержание теплой воздушной массы, взаимодействующей на фронте с холодной воздушной массой; увеличение положительной энергии неустойчивости атмосферы, вызванное радиационным понижением температуры верхней части облачного фронтального массива.

Орографическая гроза связана с возникновением вынужденной конвекции или усилением конвективных движений в атмосфере под действием орографического препятствия. Повторяемость гроз в горах значительно больше, чем на равнине. Например, на Кавказе отмечается до 60 дней с грозой в год, в Астрахани – до 15 дней, в Москве, Ульяновске в среднем наблюдается 25 дней с грозой за год.

На наветренных склонах гор происходит обострение атмосферных фронтов, что проявляется в увеличении скорости восходящих движений воздуха. Если при прохождении фронта через равнинную местность грозы не наблюдались, то при приближении фронта к горе вследствие вынужденного подъема влажного воздуха вдоль наветренного склона горы могут возникнуть орографические грозы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4.5. Опасные явления погоды, связанные с конвективными облаками

Cu hum. и Cu med. не представляют такой большой опасности для выполнения полетов, как другие облака вертикального развития. Вместе с тем, нужно помнить, что они являются признаком наличия в атмосфере термической турбулентности, вызывающей иногда умеренную и сильную болтанку ВС.

Cu cong. представляют значительную опасность для полетов, т.к. в этих облаках при отрицательной температуре воздуха наблюдается сильное обледенение ВС, вертикальные скорости воздушных потоков достигают 15 м/с и более, имеются условия для возникновения сильной болтанки ВС.

Наиболее опасными для полетов являются грозовые Cb. Попадание ВС в такие облака может закончиться катастрофой из-за сильного обледенения, сильной болтанки, молний, града. Следует помнить, что при полете по маршруту вблизи Cb можно попасть в зону града, т.к. град может выноситься за пределы облака сильными воздушными горизонтальными потоками.

С Cb связаны опасные для авиации шквалы и смерчи. В передней части Cb возникает вихрь с горизонтальной осью вращения, который можно видеть как темный крутящийся вал из разорванных облаков – шквалового ворот. Этот вихрь обычно возникает на высоте несколько сотен метров и может опускаться до поверхности земли. В зоне вихря наблюдается **шквал** (SQ) – кратковременное усиление приземного ветра при изменении его направления иногда почти на противоположное. При шквале скорость ветра может достигать 40 м/с.

Смерч (тромб, торнадо, воронкообразное облако) (FC) – это вихрь в атмосфере с вертикальной или слегка изогнутой осью вращения, связанный с суперячейковым Cb. Разрушительная сила смерчей обусловлена скоростями ветра до 100 м/с и более, а также значительным перепадом давления воздуха.

Большую опасность для полетов ВС представляет фронт порывистости (фронт порывов), наблюдающийся на расстоянии до 40 км от переднего края грозового облака. Этот фронт простирается от поверхности земли до высоты около 2 км и является зоной сильной турбулентности и опасных горизонтальных

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

и вертикальных сдвигов ветра. Из-за наличия этого фронта полет, взлет и посадка ВС навстречу перемещающемуся грозовому облаку являются особенно опасными.

В зонах конвективной деятельности наблюдаются микропорывы (микровзрывы), в которых проявляются одновременно вертикальный и горизонтальный сдвиги ветра. Микропорывы состоят из двух частей – сильного нисходящего воздушного потока и порывистого неустойчивого ветра. По вертикали микропорывы распространяются с высоты примерно 1 км до поверхности земли. По горизонтали они занимают площадь диаметром до 5 км. Скорость нисходящего потока может достигать 30 м/с, а скорость приземного ветра – 22 м/с при изменении его направления почти на противоположное.

После возникновения микропорыва в течение 5 мин он достигает земной поверхности и наибольшей интенсивности. Микропорыв существует примерно 15 мин и наибольшую опасность представляет при заходе на посадку, при посадке и взлете ВС. Он может возникнуть под любым конвективным облаком, даже если с ним не связаны ливни и грозы. При микропорыве наблюдается подъем с поверхности земли пыли, песка, что существенно может ухудшить горизонтальную видимость на аэродроме.

Экипажам ВС запрещается преднамеренно входить в Cu cong., Cb и зоны сильных ливневых осадков. При полете в Cb и вблизи них можно встретить сильные восходящие и нисходящие потоки воздуха, сильную турбулентность, молнии, град, сильные ливневые осадки, шквалы, смерчи, микровзрывы. При этом можно наблюдать сильное обледенение ВС, сильные сдвиги ветра, электризацию ВС, атмосферики – электромагнитные импульсы, возникающие при грозовом разряде и нарушающие радиосвязь в радиусе до 100 км от грозового очага.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4.6. Рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зоне грозовой деятельности

Полеты в зоне грозовой деятельности и сильных ливневых осадков относятся к полетам в особых условиях. Для обеспечения БП экипажи ВС должны строго соблюдать требования руководящих документов.

При принятии решения на полет в зоне грозовой деятельности экипаж ВС должен учитывать: характер гроз (внутримассовые или фронтальные); тип грозовых облаков (одноячейковые, многоячейковые или суперячейковые), их расположение, направление и скорость перемещения; эволюцию атмосферного фронта и конвективных облаков в зависимости от времени суток и года; мощность Cb, положение их нижней и верхней границ; характер рельефа; возможные маршруты обхода Cu cong. и Cb; необходимость дополнительной заправки топливом.

При наличии и прогнозировании фронтальных гроз в горной местности запрещается принимать решение на вылет по ПВП и ОПВП ниже нижнего эшелона.

При подходе ВС к зоне грозовой деятельности экипаж обязан оценить возможность продолжения полета, принять решение на обход зоны, согласовав свои действия с органом УВД.

При визуальном обнаружении в полете Cu cong. и Cb разрешается обходить их на удалении не менее 10 км. При невозможности обхода на заданной высоте разрешается визуальный полет под облаками или выше их.

Полет под облаками разрешается только днем, вне зоны ливневых осадков, если: высота полета ВС над рельефом местности и искусственными препятствиями не менее истинной безопасной высоты, но во всех случаях не менее 200 м в равнинной и холмистой местности и не менее 600 м в горной местности; вертикальное расстояние от ВС до нижней границы облаков не менее 200 м.

Полет над верхней границей Cu cong. и Cb разрешается выполнять с превышением над ними не менее 500 м. При обнаружении в полете этих облаков бортовыми РЛС разрешается обходить их на удалении не менее 15 км от ближней границы засветки. Пересекать фронтальную облачность с отдельными грозовыми очагами

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

можно в том месте, где расстояние между границами засветок на экране бортового радиолокатора не менее 50 км.

При взлете и заходе на посадку в условиях ливневых осадков экипаж обязан учитывать возможность ухудшения летных и аэродинамических характеристик ВС.

При оценке метеорологической обстановки на аэродромах и по маршруту экипажам рекомендуется использовать прогностическую, радиолокационную и спутниковую информацию, а также данные бортовой погоды о грозах.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.4.7. Рекомендации органам УВД по обеспечению БП в зоне грозовой деятельности

Диспетчер, используя радиолокаторы, метеоинформацию и сообщения с бортов ВС, обязан информировать экипажи о характере облачности, расположении грозовых очагов, направлении и скорости их смещения и давать рекомендации о маршруте обхода грозовых очагов.

При отсутствии на экранах наземных РЛС отображения Cu cong. и Cb диспетчер сообщает об этом экипажам и, используя метеоданные и сообщения с бортов ВС, информирует экипажи о метеообстановке в контролируемом пространстве. В этом случае обход очагов Cu cong. и Cb производится по бортовым РЛС или визуально.

Орган УВД должен постоянно оценивать метеорологическую обстановку в контролируемом пространстве, используя местные сводки фактической погоды на аэродроме, телеграммы METAR, SPECI, TAF, информацию AIRMET, SIGMET, AIREP, спутниковую и радиолокационную информацию.

Орган УВД должен знать рекомендации экипажам ВС по обеспечению безопасности полетов в зоне грозовой деятельности (см. разд. 9.4.6).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.5. Поражение ВС электрическими разрядами вне зон конвективной деятельности

9.5.1. Электрическое поле атмосферы и электризация ВС

Напряженность электрического поля нижней тропосферы при отсутствии особых явлений погоды, таких, как атмосферные осадки, дымка, туман, метель, при ясном или малооблачном небе и слабом ветре убывает с высотой по экспоненциальному закону. Считается, что поверхность земли обладает отрицательным электрическим зарядом, а суммарный заряд в атмосфере положителен.

Средние значения напряженности электрического поля в различных пунктах различаются. Например, в Екатеринбурге – 150 В/м, в Санкт-Петербурге – 130 В/м, в Тбилиси – 80 В/м. Максимум напряженности электрического поля на Земном шаре наблюдается в умеренных широтах северного полушария, к экватору и полюсам эта величина убывает. В годовом ходе максимум ее отмечается зимой, а минимум – летом.

Электризация ВС в полете при ясном небе и отсутствии особых явлений погоды мала, т.к. ВС встречается с небольшим количеством заряженных частиц. При полете в облаках и осадках электризация ВС может быть значительной.

Напряженность электрического поля во фронтальных слоистообразных облаках (Ns, As) примерно в два раза больше, чем во внутримассовых облаках (St, Sc, Ac), и может достигать 7000 В/м. В Cb напряженность составляет 30 000 В/м и более. Последовательность форм облаков по возрастанию их электрической активности, характеризующейся средними значениями напряженности, следующая: St, Sc, Cu, Ac, As, Ns, TCu, Cb.

В облачном массиве As–Ns происходит образование объемных зарядов разных знаков в верхней и нижней частях массива. Крупные частицы облаков и осадков (капли, снежинки) несут положительный заряд, а мелкие элементы облаков – отрицательный заряд. В нижней части облаков сосредотачиваются положительные заряды, а в верхней части – отрицательные. Однако электрические

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

разряды в As–Ns не возникают между частями облачного массива, т.к. напряженность электрического поля в этих облаках мала, по сравнению с Cb. Появление ВС в As–Ns в некоторых случаях приводит к возникновению электрических разрядов.

Электрический заряд, который приобретает ВС при полете в облаках, зависит от размеров ВС и скорости полета, а также от характеристик облачности. Чем больше скорость полета и размеры ВС, тем больше электрический заряд. Чем больше мощность и водность облака, напряженность электрического поля, количество облачных элементов и чем меньше радиус этих элементов, тем интенсивнее происходит электризация ВС. В кристаллических облаках заряжение ВС происходит особенно сильно.

При полете в электрически активных зонах напряженность электрического поля быстро возрастает вблизи пластмассовых обтекателей бортовых РЛС, концов крыльев и заостренных частей ВС. Именно в эти части ВС чаще всего происходит электрический разряд.

При заходе на посадку в слоистообразной облачности ВС получает в верхней части этой облачности заряд одного знака. Обледенение ВС усиливает его электризацию. Когда ВС при снижении попадает в нижнюю часть облаков, где сосредоточен объемный электрический заряд противоположного знака, происходит резкое увеличение напряженности электрического поля, что приводит к электрическому разряду между ВС и облаком.

При наборе высоты в зоне осадков ВС приобретает положительный электрический заряд. Если ВС входит в массив As–Ns, то получает заряд противоположного знака. При достижении напряженности электрического поля критического значения происходит электрический разряд. Поражение ВС электрическим разрядом может произойти и в горизонтальном полете, например, при полете по кругу. В St поражений ВС электростатическими разрядами не отмечалось.

Самолеты с ТРД поражаются электростатическими разрядами примерно в три раза чаще, чем самолеты с ТВД. Электрические разряды в ВС напоминают вспышку при электросварке и сопровождаются негромким хлопком. При этом чаще всего повреждаются антенно-фидерные устройства, радиолокатор, выходит

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

из строя радиосвязь, в корпусе ВС прожигается отверстие размером от 1 до 20 см (обычно это происходит в лобовой части корпуса, где оседает большая часть электрических зарядов), нарушается герметичность кабины экипажа, выходят из строя аэронавигационные и пилотажные приборы.

Продолжительность полета ВС в слоистообразных облаках и осадках перед электростатическим разрядом колеблется от нескольких десятков секунд до 15 мин, составляя в среднем 2-3 мин.

Электрическому разряду в ВС предшествует сильная электризация ВС, которая проявляется в виде: шума и треска при радиоприеме на длинных, средних, коротких и ультракоротких волнах; беспорядочных смещений стрелок радиокомпасов и шума в телефонных каналах радиокомпасов; искр на стеклах кабины пилота; свечения концов крыльев, винтов, носовой части в темное время суток.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.5.2. Синоптические и метеорологические условия поражения ВС электростатическими разрядами

Наибольшая вероятность поражения ВС электростатическим разрядом вне зон конвективной деятельности характерна для холодных фронтов и холодных фронтов окклюзии на удалении до 100 км от приземной линии этих фронтов. В зоне теплых фронтов поражение ВС таким разрядом наблюдается редко.

Для поражения ВС разрядом статического электричества благоприятны следующие синоптические условия: циклоны, барические ложбины и фронты при наличии слоистообразной облачности; малоградиентные области пониженного давления с размытыми фронтами и слоистообразной облачностью; передние части барических и термических ложбин на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500 гПа и ОТ с малыми дефицитами точки росы (менее 4 °С).

Поражение ВС электрическими разрядами чаще всего происходит на высотах от 0,5 до 4,0 км. Температура воздуха в зонах поражения ВС колеблется от 5 до -15 °С. Чаще всего электрические разряды в облаках происходят при температуре воздуха около 0 °С. Обледенение ВС и турбулентность в облаках и осадках увеличивают вероятность поражения ВС электрическими разрядами.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.5.3. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению БП в зоне повышенной электрической активности атмосферы

Экипаж ВС при появлении признаков сильной электризации должен доложить об этом диспетчеру и выполнять его рекомендации о выходе из опасной зоны. Вместе с тем, экипаж должен выключить одну УКВ радиостанцию, чтобы она стала резервной в случае электрического разряда. Ночью нужно включить освещение кабины пилота, чтобы при электрическом разряде не повредились глаза членов экипажа.

Изменение высоты полета необходимо выполнять с повышенной вертикальной и уменьшенной поступательной скоростью полета в соответствии с РЛЭ. После выхода из слоя облаков до входа в другой слой следует сделать горизонтальную площадку продолжительностью 5-10 с.

В случае поражения ВС разрядом атмосферного электричества экипажу необходимо: доложить диспетчеру УВД о факте, метеоусловиях, месте и высоте поражения ВС разрядом; проконтролировать параметры работы двигателей; проверить работу электрооборудования и пилотажно-навигационного оборудования; осмотреть ВС в целях обнаружения повреждений.

При оценке метеорологической обстановки перед полетом и в полете экипаж ВС должен учесть синоптические и метеорологические условия поражения ВС электрическим разрядом вне зон конвективной деятельности (см. разд. 9.5.2). Диспетчер УВД также должен знать эти условия.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.6. Сдвиги ветра в приземном слое атмосферы

9.6.1. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку ВС

Сдвиг ветра (WS) – изменение скорости и/или направления ветра в пространстве. Период осреднения ветра равен 2 мин. Считается, что изменение ветра, характеризующее сдвиг ветра, должно, во-первых, продолжаться несколько секунд или более и, во-вторых, оно должно вызвать изменение подъемной силы ВС. Сдвиг ветра является невидимым и внезапным явлением. Различают вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра. Вертикальный WS – изменение ветра с высотой по вертикали на 30 м. Горизонтальный WS – изменение ветра по горизонтали на 600 м.

Сдвиг ветра и атмосферная турбулентность – разные, но связанные друг с другом явления. В отличие от WS, турбулентность обычно приводит к толчкам и ударам и не вызывает значительного отклонения ВС от глиссады снижения. Однако в случае сильной турбулентности может произойти резкое изменение высоты и положения ВС в пространстве, и пилот может моментально потерять контроль над управлением ВС.

Проблема WS возникла в связи с появлением ВС с большой массой и потому обладающих большой инерцией, из-за которой путевая скорость не может мгновенно измениться при внезапном изменении ветра вдоль траектории полета. При изменении ветра и постоянстве путевой скорости в течение короткого промежутка времени происходит изменение воздушной скорости, т.к. вектор путевой скорости равен сумме векторов ветра и воздушной скорости.

При увеличении воздушной скорости, а значит и подъемной силы крыла происходит подъем ВС, а при уменьшении – опускание ВС относительно расчетной траектории полета. При заходе на посадку и при взлете значительные отклонения ВС от траектории полета представляют большую опасность в связи с близостью земли и дефицитом времени. Критерии интенсивности WS и влияния его на управление ВС разработаны ИКАО (табл. 9.1).

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Таблица 9.1

Критерии интенсивности сдвига ветра

Интенсивность WS	Влияние WS на управление ВС	Градация, м/с горизонтальный WS на 600 м вертикальный WS на 30 м
Слабый	Незначительное	0,1-2,0
Умеренный	Значительное	2,1-4,0
Сильный	Существенное	4,1-6,0
Очень сильный	Опасное	> 6,0

Наиболее сильные вертикальные сдвиги ветра отмечаются в приземном слое на высотах до 100 м от поверхности земли. Если скорость встречного ветра в этом слое с высотой резко увеличивается, то при посадке ВС опускается ниже глиссады, а при взлете поднимается выше расчетной траектории. Это может привести соответственно к посадке до ВПП и сваливанию ВС.

Если скорость встречного ветра с высотой уменьшается, то при посадке ВС поднимается выше глиссады, вследствие чего может произойти выкатывание ВС за пределы ВПП. При взлете в этих условиях ВС опускается ниже расчетной траектории, что может стать причиной столкновения ВС с препятствиями вблизи аэродрома. Наиболее опасным для полетов считается сдвиг ветра, приводящий к потере высоты.

Влияние горизонтального WS на полет ВС выражается в «подбрасывании» ВС при увеличении скорости встречного ветра в направлении полета или в «проваливании» ВС при увеличении скорости попутного ветра. Боковые WS обусловлены резким изменением направления ветра с высотой и приводят к боковым смещениям ВС от расчетной траектории полета.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.6.2. Синоптические, метеорологические и орографические условия возникновения сдвигов ветра

Сдвиги ветра могут отмечаться при внутримассовых процессах и на атмосферных фронтах. Возникновению сдвигов ветра в приземном слое в районе аэродрома способствуют следующие условия: задерживающие слои, атмосферные фронты, конвективная деятельность, бризовая циркуляция, сложный рельеф местности, застройки, неоднородность подстилающей поверхности. Сильные горизонтальные и вертикальные WS в горной местности наблюдаются чаще, чем над равниной, и связаны с местными ветрами (см. разд. 4.10).

При антициклональной погоде WS может наблюдаться ночью или рано утром, когда имеет место слабое перемешивание воздуха в приземном слое и формируется радиационная инверсия. Выше слоя инверсии может отмечаться сильный ветер, который называют «ночным струйным течением» и который исчезает с восходом солнца. Такой ветер характерен для континентальных степных и пустынных районов.

Адвективные инверсии формируются на западной периферии антициклонов в холодный период года при адвекции теплого воздуха и тоже обусловливают возникновение WS. На верхней границе слоя инверсии ветер может быть значительным по скорости и иметь другое направление, вплоть до противоположного, по отношению к ветру в слое инверсии и на нижней границе этого слоя. WS в приземном слое могут быть связаны с задерживающими слоями любого происхождения.

Атмосферный фронт является зоной изменения ветра, как по вертикали, так и по горизонтали. Фронтальная поверхность является задерживающим слоем. В связи с ее наклоном слой максимального вертикального WS наблюдается впереди приземной линии теплого фронта и опускается до земной поверхности с приближением фронта. В случае холодного фронта этот слой поднимается над аэродромом от поверхности земли после прохождения фронта. Опасные WS

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

возникают на активных быстродвижущихся фронтах, холодных фронтах второго рода. Контраст температуры воздуха в зоне активных фронтов – более 7 °С, а скорость их движения – 50 км/ч и более.

Сдвиги ветра связаны с конвективными облаками, фронтом порывистости, микропорывами. Опасные WS возникают вблизи Cb и под ними (см. разд. 9.4).

На аэродромах, расположенных вблизи крупных водоемов, наблюдается бризовая циркуляция (см. разд. 4.10). Морской бриз дует в дневное время со стороны водоема на сушу и связан с пологим приземным холодным фронтом, который называется фронтом морского бриза. Вблизи этого фронта в приземном слое отмечаются вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.6.3. Обнаружение сдвига ветра на аэродроме

Для приближенной оценки наличия WS на аэродромах в Российской Федерации используют данные шаропилотных наблюдений, анеморумбометры, установленные на специальных мачтах, высоких зданиях вблизи аэродромов. В информацию ATIS включаются приборные данные о ветре на высоте 30-50 м, а также шаропилотные, прогностические или полученные от экипажей ВС данные о ветре на высоте 100 м и на высоте круга. В телеграммы METAR включается информация о наличии WS, переданная с борта ВС.

В международной практике для обнаружения WS на аэродроме используются доплеровские радиолокаторы.

Экипажи ВС должны знать метеорологические признаки наличия сдвигов ветра на аэродроме, чтобы избежать попадания ВС в зону действия WS посредством ухода на второй круг, задержки захода на посадку или взлета до исчезновения этих признаков.

Признаки наличия WS в приземном слое атмосферы в районе аэродрома следующие: явление вирга – видимые полосы выпадающих из кучево-дождевых облаков осадков, не достигающих поверхности земли вследствие испарения; шкваловый ворот, движущийся впереди зоны ливневых осадков и указывающий на наличие фронта порывистости; пыльные и песчаные вихри под конвективными облаками, указывающие на наличие микропорывов; движение дымных факелов от антропогенных источников (труба котельной) в различных направлениях; сильный порывистый ветер, воздействующий на деревья.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

9.6.4. Рекомендации экипажам ВС и органам УВД по обеспечению безопасности взлетов и посадок ВС в условиях сдвига ветра

Необходимо помнить, что взлет и заход на посадку в условиях сильного WS запрещаются. Попадание ВС в эти условия относится к особым случаям в полете.

Экипажи ВС должны знать, что при взлете и заходе на посадку в условиях WS необходимо: увеличить расчетные скорости в соответствии с требованиями РЛЭ, осуществлять повышенный контроль над изменением поступательной и вертикальной скоростей и немедленно парировать возникающие отклонения от расчетных параметров и заданной траектории полета.

При заходе на посадку нужно немедленно уйти на второй круг с использованием взлетного режима и следовать на запасной аэродром, если для выдерживания заданной глиссады снижения требуется увеличить режим работы двигателей до номинального и/или после пролета ДПРМ вертикальная скорость снижения увеличилась на 3 м/с и более от расчетной.

Диспетчеры УВД должны качественно оценивать метеообстановку на аэродроме и своевременно доводить до экипажей ВС информацию о наличии и/или прогнозировании WS на аэродроме. Диспетчеры должны быть готовы рекомендовать запасной аэродром.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Контрольные вопросы

1. Назовите причины обледенения ВС в полете.
2. Какие факторы влияют на интенсивность обледенения ВС в полете?
3. Охарактеризуйте метеорологические условия образования различных видов и форм отложения льда на разных частях ВС в полете.
4. При каких синоптических условиях возникает обледенение ВС в полете?
5. Какие особенности обледенения в различных облаках и осадках, Вы знаете?
6. *Дайте сравнительную характеристику метеорологических условий наземного обледенения и обледенения ВС в полете.
7. Что называют гололедом и гололедицей?
8. При каких синоптических условиях возникают различные виды наземного обледенения?
9. Дайте определение переохлажденных атмосферных осадков.
10. Охарактеризуйте виды и метеорологические условия обледенения ВПП.
11. *Дайте рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в условиях наземного обледенения.
12. *Дайте рекомендации органам УВД по обеспечению БП в условиях наземного обледенения.
13. Что называют атмосферной турбулентностью и болтанкой ВС?
14. *Докажите, что при полете в одной и той же турбулентной зоне ВС разного типа испытывают болтанку разной интенсивности.
15. От каких факторов зависит интенсивность болтанки ВС?
16. Какие критерии интенсивности болтанки ВС Вы знаете?
17. Назовите причины возникновения атмосферной турбулентности.
18. Какие виды атмосферной турбулентности Вы знаете?
19. Дайте определение CAT.
20. Охарактеризуйте пространственные размеры турбулентных зон в атмосфере.
21. Какие условия благоприятны для развития термической турбулентности?
22. *Дайте рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зонах атмосферной турбулентности.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

23. *Дайте рекомендации органам УВД по обеспечению БП в зонах атмосферной турбулентности.

24. От каких факторов зависит интенсивность механической турбулентности?

25. Какие атмосферные условия необходимы для возникновения гроз?

26. *Какие существуют современные способы обнаружения турбулентных зон в атмосфере?

27. Почему в кучево-дождевых облаках возникают молнии?

28. Какие виды молний Вы знаете?

29. *Дайте сравнительный анализ условий образования одноячейковых, многоячейковых и суперячейковых Cb.

30. Дайте определение конвективной ячейки и охарактеризуйте стадии ее развития.

31. Какие признаки лежат в основе классификации гроз?

32. Охарактеризуйте опасные для авиации явления погоды, связанные с конвективной деятельностью.

33. *В чем заключается различие между шквалами и смерчами?

34. Как образуется фронт порывистости и почему он представляет опасность для полетов ВС?

35. В чем заключается опасность для авиации микропорыва?

36. *Дайте рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зоне грозовой деятельности.

37. *Дайте рекомендации органам УВД по обеспечению БП в зоне грозовой деятельности.

38. От каких факторов зависит интенсивность электризации ВС?

39. Почему самолеты с ТРД поражаются электростатическими разрядами чаще, чем самолеты с ТВД?

40. Охарактеризуйте синоптические и метеорологические условия поражения ВС электростатическими разрядами.

41. *Дайте рекомендации экипажам ВС по обеспечению БП в зоне повышенной электрической активности атмосферы.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

42. Дайте рекомендации органам УВД по обеспечению БП в зоне повышенной электрической активности атмосферы.

43. Что называют сдвигом ветра?

44. *В чем заключается проблема сдвига ветра?

45. Какие существуют критерии интенсивности сдвига ветра?

46. Какие синоптические, метеорологические и орографические условия благоприятны для возникновения сдвига ветра?

47. *Какие существуют современные методы обнаружения сдвига ветра на аэродроме?

48. *Дайте рекомендации экипажам ВС по обеспечению безопасности взлетов и посадок ВС в условиях сдвига ветра.

49. Дайте рекомендации органам УВД по обеспечению безопасности взлетов и посадок в условиях сдвига ветра.

50. Какие вы знаете визуальные признаки наличия сдвига ветра на аэродроме?

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Тестовые задания

1. Причиной обледенения ВС в полете является наличие в атмосфере…

а) переохлажденного сухого снега;

б) переохлажденных капель;

в) града;

г) все ответы правильные.

2. Самый опасный вид обледенения ВС в полете…

а) прозрачный лед;

б) изморозь;

в) иней;

г) сухой лед.

3. Обледенение ВС в полете может быть особенно интенсивным при температуре воздуха…

а) -40 °С;

б) 1 °С;

в) -3 °С;

г) -20 °С.

4. Капли воды содержатся в облаках при температуре воздуха ниже 0 °С и называются…

а) атмосферными осадками;

б) переохлажденными;

в) снежинками;

г) смешанными.

5. Если в полете ВС попадает в область переохлажденного дождя при температуре воздуха – 5 °С, то формируется…

а) матовый лед;

б) белый лед.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

6. Интенсивность обледенение ВС в полете тем больше, чем …

а) толще профиль крыла;

б) меньше водность облака;

в) меньше воздушная скорость;

г) тоньше профиль крыла.

7. Самым плотным видом обледенения является…

а) белый лед;

б) прозрачный лед;

в) матовый лед;

г) изморозь.

8. При полете в смешанных облаках при температуре воздуха -15 °С образуется…

а) белый лед;

б) прозрачный лед;

в) матовый лед;

г) изморозь.

9. При полете в облаках кинетический нагрев ВС…

а) равен нулю;

б) в два раза больше, чем при полете вне облаков;

в) на 40 % меньше, чем при полете вне облаков;

г) в два раза меньше, чем при полете вне облаков.

10. Если водность переохлажденного облака составляет 2 г/м³, то при полете ВС в нем наблюдается…

а) отсутствие обледенения;

б) слабое обледенение;

в) умеренное обледенение;

г) сильное обледенение.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

11. Если интенсивность обледенения составляет 2 мм/мин, то обледенение считается…

а) неопасным;

б) слабым;

в) умеренным;

г) сильным.

12. Взлет и посадка ВС запрещаются в условиях…

а) обледенения любой интенсивности;

б) умеренного и сильного обледенения;

в) умеренного обледенения и значительного сдвига ветра;

г) сильного обледенения.

13. При выпадении переохлажденных осадков (дождя, мороси) образуется…

а) оледенелый мокрый снег;

б) иней;

в) изморозь;

г) гололед.

14. Ливни из снега и дождя выпадают из облаков…

а) слоисто-дождевых;

б) слоисто-кучевых;

в) кучево-дождевых;

г) высококучевых башенковидных.

15. Взлет ВС, покрытого инеем, …

а) часто происходит зимой;

б) считается неопасным;

в) запрещается;

г) разрешается.

16. Изморозь образуется, если наблюдается…

а) переохлажденный дождь;

б) переохлажденный туман;

в) переохлажденная морось;

г) мокрый снег.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

17. Замерзание талой воды на ВПП при переходе температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям называется…

а) гололедом;

б) гололедицей;

в) снежным накатом;

в) оледенелым снегом.

18. Состояние атмосферы, когда образуются вихри разных масштабов, – это …

а) болтанка;

б) гроза;

в) турбулентность;

г) сдвиг ветра.

19. Турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности называется…

а) механической;

б) САТ;

в) термической;

г) орографической.

20. В результате неравномерного нагревания земной поверхности возникает турбулентность…

а) динамическая;

б) механическая;

в) при ясном небе;

г) термическая.

21. Интенсивность болтанки ВС зависит от…

а) турбулентного состояния атмосферы;

б) конструкции ВС и режима полета;

в) плотности воздуха;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

22. Горизонтальная протяженность зон сильной турбулентности в свободной атмосфере…

а) менее 40 км;

б) 50-100 км;

в) более 100 км;

г) 100-200 км.

23. Вертикальная протяженность зон сильной турбулентности в свободной атмосфере…

а) менее 300 м;

б) 1-2 км;

в) 5-10 км;

г) 500 м.

24. В струйном течении наибольшая повторяемость сильной турбулентности наблюдается…

а) на циклонической стороне;

б) на антициклонической стороне;

в) на оси струйного течения;

г) все ответы правильные.

25. Набольшая повторяемость сильной турбулентности отмечается…

а) в нижней тропосфере;

б) в средней тропосфере;

в) в верхней тропосфере;

г) все ответы правильные.

26. Признаком орографической турбулентности является…

а) чечевицеобразное облако;

б) роторное облако;

в) кучево-дождевое облако;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

27. Циклическая болтанка ВС возникает при полете…

а) в области горных волн;

б) на наветренной стороне горного хребта;

в) вблизи роторного облака;

г) все ответы правильные.

28. При полете на эшелоне турбулентность считается сильной, если приращение перегрузки…

а) более 0,4;

б) более 1,0;

в) более 0,5;

г) все ответы правильные.

29. Гроза всегда связана с…

а) Ns;

б) CB;

в) SHRA;

г) FC.

30. Внутримассовые грозы возникают при наличии…

а) одноячейковых CB;

б) многоячейковых CB;

в) суперячейковых CB;

г) все ответы правильные.

31. Предвестником дневной грозы являются утренние облака…

а) высококучевые чечевицеобразные;

б) высококучевые башенкообразные;

в) перистые когтевидные;

г) перистые радиальные.

32. Перерастание мощного кучевого облака в кучево-дождевое происходит…

а) в течение 3-4 ч;

б) в течение менее 1 ч;

в) только на атмосферных фронтах;

г) все ответы правильные.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

33. В кучевом облаке наблюдаются…

а) грозы;

б) ливни и град;

в) восходящие потоки воздуха;

г) все ответы правильные.

34. Частые грозы (FRQ TS) являются …

а) адвективными;

б) конвективными;

в) фронтальными;

г) все ответы правильные.

35. Замаскированные грозы (EMBD TS) являются …

а) адвективными;

б) конвективными;

в) фронтальными;

г) все ответы правильные.

36. Кратковременное усиление ветра при изменении его направления, связанное с Cb, – это…

а) PO;

б) SQ;

в) FC;

г) TS.

37. Наибольшая напряженность электрического поля наблюдается в облаках…

а) Ns, CB;

б) TCU, CB;

в) As, Ns;

г) St, Cb.

38. Наиболее часто поражение ВС электростатическими разрядами происходит в…

а) слоистообразных облаках и осадках;

б) волнообразных облаках;

в) слоистых облаках и осадках;

г) кристаллических облаках.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

39. Синоптические условия поражения ВС электростатическими разрядами – это …

а) антициклоны, циклоны, фронты;

б) циклоны, ложбины, фронты;

в) депрессии, гребни, седловины;

г) гребни, антициклоны, фронты.

40. Вероятность поражения ВС электростатическими разрядами повышается при…

а) наличии турбулентности и обледенения;

б) наличии обледенения и отсутствии турбулентности;

в) отсутствии турбулентности и обледенения;

г) наличии турбулентности и отсутствии обледенения.

41. Взлет и посадка ВС запрещаются в условиях…

а) умеренного WS;

б) сильного WS;

в) значительного WS;

г) все ответы правильные.

42. Видимые полосы выпадающих из Cb осадков, не достигающих поверхности земли, называются…

а) шкваловым воротом;

б) микропорывом;

в) вирга;

г) фронтом порывов.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Заключение

В учебном пособии мало внимания уделяется вопросам метеорологического обеспечения полетов и метеорологическим условиям полетов ВС на разных высотах и в разных географических районах. Не рассматривается орнитологическое обеспечение полетов. Этим вопросам будет посвящено другое учебное пособие, создание которого планируется после утверждения новых нормативных документов, заменяющих НМО ГА-95 и НПП ГА-85.

Кроме того, намечается выпуск пособия под названием «Авиационная метеорология в схемах и рисунках». Следующим этапом работы будет создание электронного учебника «Авиационная метеорология».

Автор надеется, что проделанная им работа будет способствовать ликвидации недостатков в обучении авиационной метеорологии курсантов, студентов высшего авиационного училища, а также слушателей АУЦ, что, в конечном счете, должно повысить уровень безопасности, регулярности и экономической эффективности полетов ВС.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Сокращения, используемые в тексте

ВС – воздушное судно

ATIS – автоматическая радиовещательная передача метеорологической и полетной информации в районе аэродрома для прилетающих и вылетающих ВС

METAR – регулярная сводка погоды для авиации

КРАМС – комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция

AWOS, VAISALA – модификации автоматических метеорологических станций, используемые в мировой практике

БПРМ – ближний приводной радиомаркер

ВПП – взлетно-посадочная полоса

МОД – метеорологическая оптическая дальность

ИКАО – Международная организация гражданской авиации

ОЦА – общая циркуляция атмосферы

ОТ – относительная топография

АТ – абсолютная топография

БП – безопасность полетов

ППП – правила полетов по приборам

ПВП – правила визуальных полетов

ОПВП – особые ПВП

РЛС – радиолокационная станция.

SIGMET – информация о фактическом или ожидаемом возникновении опасных явлений погоды по маршруту полета

TAF – прогноз погоды на аэродроме

SPECI – специальная выборочная сводка погоды для авиации

AIREP – информация с борта ВС

AIRMET – информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на БП ВС на малых высотах

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

ТРД – турбореактивный двигатель

ТВД – турбовинтовой двигатель

РЛЭ – руководство по летной эксплуатации.

ДПРМ – дальний приводной радиомаркер

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Рекомендуемая литература

1. Астапенко П.Д. Авиационная метеорология: учеб. пособие для вузов гражд. авиации / П.Д. Астапенко, А.М. Баранов, И.М. Шварев. – М.: Транспорт, 1985. – 262 с.

2. Баранов А.М. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов: учебник для вузов / А.М. Баранов, Г.П. Лещенко, Л.Ю. Белоусова. – М.: Транспорт, 1993. – 287 с.

3. Баранов А.М. Авиационная метеорология: учебник / А.М. Баранов, О.Г. Богаткин, В.Ф. Говердовский, В.Д. Еникеева. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 348 с.

4. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды / О.Г. Богаткин, Г.Г. Тараканов. – СПб.: РГГМУ, 2003. – 164 с.

5. Здорик Ю.М. Погода и условия полётов в горах: монография / Ю.М. Здорик, А.С. Распутиков. – М.: Изографус, 2003. – 360 с.

6. Воронина Л.И. Практическое применение современной метеорологической информации на международных воздушных линиях: учеб. пособие / Л.И. Воронина, Л.В. Ярошевич. – М.: АО «ЭКОС», 1999. – 176 с.

7. Ермакова А.И. Особенности метеорологического обеспечения полетов на международных воздушных линиях / А.И. Ермакова. – М.: Зенит, 1993. – 223 с.

8. НМО ГА-95. – М.: Гидрометеоиздат, 1995. – 158 с.

9. НПП ГА-85. – М.: Воздушный транспорт, 1985. – 254 с.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

Библиографический список

1. Абрамович К.Г. Прогноз обледенения самолетов / К.Г.Абрамович – Л.: Гидрометеоиздат, 1979, – 27 с.

2. Астапенко П.Д. Погода и полеты самолетов и вертолетов / П.Д. Астапенко, А.М. Баранов, И.М. Шварев – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 280 с.

3. Атлас облаков / под ред. А.Х. Хргиана, Н.И. Новожилова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 268 с.

4. Атмосфера. Справочник. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 509 с.

5. Баранов А.М. Облака и безопасность полетов / А.М. Баранов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 232 с.

6. Баранов А.М. Авиационная метеорология / А.М. Баранов, С.В. Солонин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 383 с.

7. Баранов А.М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов / А.М. Баранов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 206 с.

8. Бехтир В.П. Особенности выполнения полета самолета в условиях обледенения: учеб. пособие / В.П. Бехтир, В.М. Ржевский. – Ульяновск: УВАУ ГА, 1998. – 70 с.

9. Бехтир В.П. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку самолета: учеб. пособие / В.П. Бехтир. – Ульяновск: УВАУ ГА, 1993. – 50 с.

10. Богаткин О.Г. Анализ и прогноз погоды для авиации / О.Г. Богаткин, В. Д. Еникеева. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 272 с.

11. Богаткин О.Г. Практикум по авиационной метеорологии / О.Г. Богаткин, В.Д. Говердовский, В.Д. Еникеева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 184 с.

12. Винниченко Н.К. Турбулентность в свободной атмосфере / Н.К. Винниченко, Н.З. Пинус, С.М. Шметер, Г.Н. Шур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 288 с.

13. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология / В.И. Воробьев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 616 с.

14. Воронцов П.А. Турбулентность и вертикальные токи в пограничном слое атмосферы / П.А. Воронцов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 296 с.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

15. Глазунов В.Г. Оповещение о сильных сдвигах ветра в районе аэродрома: метод. пособие / В.Г. Глазунов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 29 с.

16. Гусейнов Н.Ш. Диспетчеру управления воздушным движением и летчику о метеорологии / Н.Ш. Гусейнов. – Баку: Изд-во Ширвиннешр, 1998. – 138 с.

17. Дубровина Л.С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования / Л.С. Дубровина. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 216 с.

18. Зак М.Е. Метеорологические условия полета летательных аппаратов / М.Е. Зак, Н.И. Мазурин. – М.: Транспорт, 1978. – 165 с.

19. Зверев А.С. Синоптическая метеорология / А.С. Зверев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 706 с.

20. ИКАО. Конвенция о международной гражданской авиации. – 14-е изд. – Канада: ИКАО. – (Международные стандарты и рекомендуемая практика). – Прил. 3: Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации. – 2001. – ДОПЕ-2.

21. ИКАО. (Дос 8896 - AN/863/5). Руководство по авиационной метеорологии. – 5-е изд. – Канада: ИКАО, 1997.

22. ИКАО. (Дос 9640 - AN/90). Руководство по противообледенительной защите воздушных судов на земле. – 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 1995.

23. ИКАО. (Дос 7192 - AN/837). Руководство по обучению. Часть F-1. Метеорология для диспетчеров и пилотов. – 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2002.

24. ИКАО. (Дос 9328 - AN/908). Руководство по практике наблюдения за дальностью видимости на ВПП и передаче сообщений о ней. - 2-е изд. - Монреаль: ИКАО, 2000.

25. ИКАО. (Circ 186 - AN/12). Сдвиг ветра. – Канада: ИКАО, 1987.

26. Имянитов И.М. Электризация самолетов в облаках и осадках / И.М. Имянитов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 212 с.

27. Иоффе М.М. Справочник авиационного метеоролога / М.М. Иоффе, М.Г. Приходько. – М.: Воениздат, 1977. – 304 с.

28. Ковалев В.А. Видимость в атмосфере и ее определение / В.А. Ковалёв. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 216 с.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

29. Кравченко И.В. Летчику о метеорологии / И.В. Кравченко. – М.: Воениздат, 1982. – 255 с.

30. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. – СПб.: ГИМИЗ, 2000. – 778 с.

31. Маховер З.М. Авиационно-климатические характеристики северного полушария / З.М. Маховер, Л.А. Нудельман. – М.: Гидрометеоиздат. – Т. 1. – Облачность. – 1987. – 230 с.

32. Маховер З.М. Авиационно-климатические характеристики северного полушария / З.М. Маховер, Л.А. Нудельман. – М.: Гидрометеоиздат. – Т. 2. – Горизонтальная видимость, опасные явления и сложные для овиации условия погоды. – 1989. – 136 с.

33. Маховер З.М. Метеорологические условия на международных воздушных трассах / З.М. Маховер, Г.Я. Наровлянский, С.В. Солонин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 218 с.

34. Метеорологическая информация и безопасность полетов / А.Я. Верещагин, В.А. Русол, А.В. Федоткин и др. – М.: Транспорт, 1991. – 64 с.

35. Метеорологические условия полетов воздушных судов в верхней тропосфере и нижней стратосфере над территорией СССР: справ. пособие / А.А. Васильев, Т.П. Капитанова, Т.В. Лешкевич, Н.З. Пинус, В.С. Чередниченко; под ред. Н.З. Пинуса. – М.: Гидрометеоиздат, 1982. – 180 с.

36. Моргунов В.К. Основы метеорологии и климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: учебник / В.К. Моргунов. – Ростов/Д.: Феникс; Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005. – 331 с.

37. Новые тенденции в гидрометеорологии. – СПб.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1998. – 108 с.

38. Облака и облачная атмосфера: справочник / под ред. И.П. Мазина, А.Х. Хргиана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 647 с.

39. Приходько Н.Г. Справочник инженера-синоптика / М.Г. Приходько. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 317 с.

40. Пчёлко И.Г. Метеорологические условия полётов на больших высотах / И.Г. Пчёлко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. – 56 с.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

41. Пчёлко И.Г. Авиационная метеорология / И.Г. Пчёлко. – М.: Гидрометеоиздат, 1963. – 348 с.

42. Пчёлко И.Г. Аэросиноптические условия болтанки самолетов в верхних слоях тропосферы и нижней стратосфере / И.Г. Пчёлко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 94 с.

43. Распутиков А.С. Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с влиянием метеоусловий и недостатков в метеообеспечении полетов / А.С. Распутиков. – М.: Воздушный транспорт, 1992. – 144 с.

44. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / под ред. К.Г. Абрамович, А.А. Васильева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 302 с.

45. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ – 94). – М.: Воздушный транспорт, 1995. – 231 с.

46. Рацимор М.Я. Наклонная видимость / М.Я. Рацимор. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 136 с.

47. Сафонова Т.В. Наземное обледенение и безопасность полётов воздушных судов / Т.В. Сафонова // Совр. науч.-техн. проблемы транспорта России: сб. материалов межд. науч.-техн. конф. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2002. – С. 169-172.

48. Сафонова Т.В. К вопросу об использовании экспертной системы при прогнозировании наземного обледенения / Т.В. Сафонова // Совр. науч.-техн. проблемы транспорта России: сб. материалов межд. науч.-техн. конф. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2002. – С. 159-160.

49. Сафонова Т.В. Контекстное обучение авиационной метеорологии курсантов и слушателей УВАУ ГА / Т.В. Сафонова // Пятая межд. науч.-техн. конф. Чкаловские чтения. Сборник материалов. – Егорьевск: ЕАТК ГА им. В.П. Чкалова, 2004. – С. 69.

50. Сафонова Т.В. Проектирование целей контекстного обучения авиационной метеорологии на основе деятельностного подхода / Т.В. Сафонова // Проблемы подготовки специалистов для гражданской авиации: сб. трудов межд. науч.-практ. конф. / под ред. Н.У. Ушакова. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. – С. 232-234.

51. Сафонова Т.В. Синоптические процессы в атмосфере: учебно-метод. пособие / Т.В. Сафонова – Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. – 56 с.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

52. Сборник международных метеорологических авиационных кодов. – М.: Росгидромет, 1992. – 108 с.

53. Семенченко Б.А. Физическая метеорология / Б.А. Семенченко. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 415 с.

54. Учебное пособие по авиационной метеорологии: ЦПСАП ЗС СРУВТ / З.М. Биркина. – 2-е изд. – Новосибирск: АО «ЛАДЪ», 1996. – 100 с.

55. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. В 2 т. / А.Х. Хргиан. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – Т. 1. – 247 с.; Т. 2. – 219 с.

56. Хромов С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 568 с.

57. Хромов С.П. Метеорология и климатология / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. – М.: изд-во МГУ, изд-во «Колосс», 2004. – 582 с.

58. Шакина Н.П. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ / Н.П. Шакина, Е.Н. Скриптунова, А.Р. Иванова // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 6. – С. 40-58.

59. Шелковников М.С. Мезометеорологические процессы в горных районах и их влияние на полеты воздушных судов / М.С. Шелковников. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 208 с.

60. Шметер С.М. Термодинамика и физика конвективных облаков / С.М. Шметер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 287 с.

61. Яковлев А.Н. Авиационная метеорология / А.Н. Яковлев – М.: Транспорт, 1971. – 246 с.

62. Aviation Weather. For Pilots and Flight Operations Personnel. – Washington, D.C. ASA, 1975. – 219 p.

63. Dr. Ralph A. Petersen. Automated meteorological reports obtained from aircraft improve aviation forecasts // ICAO Journal. – Vol. 59. – No. 4. – 2004. – P. 4-7.

64. Andrew Tupper. System for Warning flight crews of volcanic ash hazard still faces challenges // ICAO Journal. – Vol. 59. – No. 4. – 2004. – P.8-10.

65. Bill. Maynard. Long experience with AWOS indicates a level of safety comparable to human observation // ICAO Journal. – Vol. 59. – No. 4. – 2004. – P. 11-13.

66. Inadequate weather communication cited in B737 microburst downdraft incident // ICAO Journal. – Vol. 59. – No. 4. – 2004. – P. 18-20.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г

67. C. M. Shun. Ongoing research in Hong Kong has led to improved wind shear and turbulence alerts // ICAO Journal. – Vol. 58. – No. 2. – 2003. – P. 4-6.

68. EUMETSAT. New generation of satellites promises more detailed flight routing information // ICAO Journal. – Vol. 58. – No. 2. – 2003. – P. 7-9.

69. Crace Swanson, Davida Streett. Ultimate goal of volcano watch is complete avoidance of ach encounters // ICAO Journal. – Vol. 58. – No. 2. – 2003. – P. 10-12.

70. Richard Stone, Nigel Gait/ World area forecast system will evolve to meet changing requirements // ICAO Journal. – Vol. 58. – No. 2. – 2003. – P. 13.

© НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009 г